



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

## Invernadero Hidropónico Automatizado

Autor

Rubén Borque Martínez

Director

Pedro Huerta Abad

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia  
2017





**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

<b>MEMORIA</b>
----------------

**Invernadero Hidropónico Automatizado**

**424.17.58**

Autor: Rubén Borque Martínez

Director: Pedro Huerta Abad

Fecha: 28/06/2017



# INDICE DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN</b>	<b>9</b>
1.1. PALABRAS CLAVE	9
<b>2. ABSTRACT</b>	<b>10</b>
2.1. KEYWORDS	10
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
3.1. MOTIVACIÓN	11
3.2. OBJETIVOS	12
3.3. ANTECEDENTES	12
3.4. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	15
<b>4. MARCO TEÓRICO</b>	<b>18</b>
4.1. HIDROPONIA	18
4.1.1. Definición	18
4.1.2. Ventajas e inconvenientes	18
4.1.3. Tipos	19
4.1.3.1. Cultivo con sustrato	19
4.1.3.1.1. Cultivo en macetas de Bentley	20
4.1.3.1.2. Cultivo en tubos verticales	21
4.1.3.1.3. Cultivo en barras y bolsas de cultivo (slabs)	21
4.1.3.2. Cultivo en solución	22
4.1.3.2.1. Cultivo en balsa	23
4.1.3.2.2. Cultivo en solución con aireación forzada por bomba	23
4.1.3.2.3. Cultivo con aireación de cascada	24
4.1.3.2.4. Cultivo en sistema hidropónicos de flujo profundo	24
4.1.3.2.5. Técnica de la película nutritiva (NFT)	24
4.1.3.2.6. New growing system (NGS)	26
4.1.4. Tipos de cultivo	27
4.1.5. Solución nutritiva	28
4.1.5.1. Factores a considerar en la solución nutritiva	30
4.1.5.1.1. Calidad del agua	30
4.1.5.1.2. Temperatura de la solución	30
4.1.5.1.3. Oxigenación	31
4.1.5.1.4. pH	31
4.1.5.1.5. Conductividad eléctrica	31

4.1.5.1.6. Control del volumen de la solución	31
<b>4.1.6. Condiciones climáticas</b>	<b>32</b>
4.1.6.1. Luz	32
4.1.6.2. Temperatura	32
4.1.6.3. Humedad relativa	33
4.1.6.4. Dióxido de carbono	33
4.1.6.5. Control de las condiciones climáticas	33
<b>4.2. INVERNADEROS</b>	<b>34</b>
<b>4.2.1. Tipos</b>	<b>36</b>
4.2.1.1. Invernadero plano o tipo parral	36
4.2.1.2. Invernadero en raspa y amagado	38
4.2.1.3. Invernadero asimétrico o inacral	39
4.2.1.4. Invernadero de capilla	40
4.2.1.5. Invernadero de doble capilla	41
4.2.1.6. Invernadero túnel o semicilindro	42
4.2.1.7. Invernadero de cristal o tipo venlo	43
<b>4.2.2. Cubierta</b>	<b>44</b>
4.2.2.1. Propiedades	44
4.2.2.1.1. Propiedades físicas	44
4.2.2.1.2. Propiedades ópticas	45
4.2.2.2. Tipos	45
4.2.2.3. Materiales más usados	45
<b>4.2.3. Control del clima en invernaderos</b>	<b>46</b>
4.2.3.1. Luz	46
4.2.3.2. Temperatura	47
<b>4.2.4. Iluminación</b>	<b>47</b>
4.2.4.1. Calidad	48
4.2.4.2. Duración	48
4.2.4.3. Cantidad	49
<b>4.3. MICROCONTROLADOR</b>	<b>49</b>
<b>4.3.1. Arduino</b>	<b>50</b>
4.3.1.1. Protocolos de comunicaciones de Arduino	52
<b>4.4. HERRAMIENTA PARA EL SISTEMA DE CONTROL</b>	<b>52</b>
<b>4.4.1. LabView</b>	<b>52</b>
<b>5. DISEÑO</b>	<b>58</b>
<b>5.1. HIDROPONÍA</b>	<b>58</b>
5.1.1. Cultivo	59
5.1.2. Solución nutritiva	59
5.1.3. Líquidos reguladores	60

5.1.3.1.	Regulador de pH	60
5.1.3.2.	Regulador de conductividad	60
5.2.	ESTRUCTURA PORTANTE	61
5.2.1.	Zona geográfica	61
5.2.2.	Elección del tipo de invernadero	62
5.2.3.	Descripción de la estructura	62
5.2.4.	Descripción de la cubierta	68
5.2.5.	Método de calculo	69
5.3.	ELECTRÓNICA	69
5.3.1.	Sensores	69
5.3.1.1.	Temperatura y humedad	69
5.3.1.2.	Presión	70
5.3.1.3.	Luz	70
5.3.1.4.	Medidor de pH	71
5.3.1.5.	Medidor de conductividad	73
5.3.1.6.	Reloj rtc	74
5.3.1.7.	Sensor volumétrico	75
5.3.1.8.	Sensor de llama	76
5.3.1.9.	Sensor de humo	76
5.3.1.10.	Sensor de movimiento	77
5.3.1.11.	Sensor de video	77
5.3.2.	Actuadores	79
5.3.2.1.	Módulo radio	79
5.3.2.2.	LCD Display	81
5.3.2.3.	Servomotor	81
5.3.2.4.	Climatización del aire	82
5.3.2.4.1.	Calefacción	82
5.3.2.4.2.	Refrigeración	83
5.3.2.5.	Iluminación	84
5.3.2.6.	Bomba de agua	85
5.3.2.7.	Bomba de agua para los depósitos auxiliares	86
5.3.2.8.	Oxigenación	86
5.3.2.9.	Ventilador	87
5.3.2.10.	Relé	88
5.4.	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	89
5.5.	CONTROL SOFTWARE	92
5.5.1.	UML	103
5.6.	INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA	106
5.6.1.	OTRAS FUNCIONALIDADES AÑADIDAS POR LABVIEW: PUBLICACIÓN WEB	122
5.6.2.	Aspecto final	127

<b>6. PROTOTIPO</b>	<b>128</b>
6.1. ACLARACIONES	128
6.1.1. Células Peltier	128
6.1.2. Alimentación	130
6.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	131
6.3. CUADRO GENERAL ELÉCTRICO	134
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>138</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>139</b>

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Invernadero a dos aguas	13
Ilustración 2: Veggie de la NASA	14
Ilustración 3: Diagrama de Gantt 1	15
Ilustración 4: Diagrama de Gantt 2	16
Ilustración 5: Diagrama de Gantt 3	17
Ilustración 6: Cultivo en tubos verticales	21
Ilustración 7: Cultivo en bolsas de cultivo	22
Ilustración 8: Cultivo en balsa	23
Ilustración 9: Cultivo de flujo profundo	24
Ilustración 10: Sistema NFT	26
Ilustración 11: Sistema NGS	27
Ilustración 12: Invernadero tipo parral	38
Ilustración 13: Invernadero en raspa y amagado	39
Ilustración 14: Invernadero Inacral	40
Ilustración 15: Invernadero de capilla	41
Ilustración 16: Invernadero de doble capilla	41
Ilustración 17: Invernadero de túnel	43



Ilustración 18: Invernadero de cristal .....	44
Ilustración 19: Espectro de luz .....	48
Ilustración 20: Esquema de un microcontrolador .....	49
Ilustración 21: Arduino .....	51
Ilustración 22: Programación en LabView .....	54
Ilustración 23: Programación en LabView 2 .....	55
Ilustración 24: Objetos en LabView .....	55
Ilustración 25: Paleta de objetos en LabView .....	56
Ilustración 26: Variables en LabView .....	57
Ilustración 27: Esquema general hidropónico del invernadero .....	58
Ilustración 28: Solución nutritiva .....	59
Ilustración 29: Líquidos reguladores de pH .....	60
Ilustración 30: Líquidos reguladores de conductividad .....	60
Ilustración 31: Ubicación del invernadero .....	61
Ilustración 32: Menú de CYPE .....	63
Ilustración 33: Pórtico del invernadero .....	64
Ilustración 34: Cerramientos y sobrecarga .....	65
Ilustración 35: Correas laterales .....	66
Ilustración 36: Correos en la cubierta .....	66
Ilustración 37: Diseño final del pórtico .....	67
Ilustración 38: Estructura 3D del invernadero .....	67
Ilustración 39: Cimentación .....	68
Ilustración 40: Sensor DHT22 .....	70
Ilustración 41: Sensor BMP180 .....	70
Ilustración 42: Sensor BH1750 .....	71
Ilustración 43: Spear tip pH .....	72
Ilustración 44: Ezo pH circuit .....	72
Ilustración 45: Conductivity probe .....	73
Ilustración 46: Ezo conductivity circuit .....	74

Ilustración 47: Octopus RTC.....	74
Ilustración 48: Sensor HC-SR04 .....	76
Ilustración 49: Im393.....	76
Ilustración 50: Sensor MQ-2 .....	77
Ilustración 51: Octopus PIR .....	77
Ilustración 52: Cámara de video genérica .....	78
Ilustración 53: TS832 y TC832 .....	79
Ilustración 54: Easycap .....	79
Ilustración 55: Shield XBee.....	80
Ilustración 56: Adaptador USB XBee .....	80
Ilustración 57: LCD Aptofun .....	81
Ilustración 58: ST 450.....	81
Ilustración 59: Ventana cenital .....	82
Ilustración 60: Bomba de calor.....	83
Ilustración 61: Aire acondicionado .....	84
Ilustración 62: Tiras led.....	84
Ilustración 63: Lámpara de leds .....	85
Ilustración 64: Bomba de agua.....	85
Ilustración 65: Bomba de agua auxiliar .....	86
Ilustración 66: Oxigenador .....	87
Ilustración 67: Ventilador .....	87
Ilustración 68: Relé de 8 canales .....	88
Ilustración 69: Montaje del relé .....	88
Ilustración 70: Cuadro eléctrico general .....	90
Ilustración 71: Instalación eléctrica.....	91
Ilustración 72: UML del invernadero.....	104
Ilustración 73: UML de riego .....	105
Ilustración 74: Visa configure serial port.....	107
Ilustración 75: Bucle loop .....	108

Ilustración 76: Visa read.....	109
Ilustración 77: String subset .....	109
Ilustración 78: Indicador de temperatura .....	110
Ilustración 79: Indicador caja de texto .....	110
Ilustración 80: Indicador tipo dial .....	110
Ilustración 81: Indicadores tipo led .....	111
Ilustración 82: Indicador tipo deposito .....	111
Ilustración 83: String a decimal.....	111
Ilustración 84: Creación de un string.....	112
Ilustración 85: Toma del valor 1 del string .....	112
Ilustración 86: Alarma encendida.....	112
Ilustración 87: Alarma OFF .....	113
Ilustración 88: Módulo de enviar un email.....	113
Ilustración 89: Módulo email dentro de la estructura .....	114
Ilustración 90: Case estructura.....	115
Ilustración 91: Módulo servidor de correo .....	115
Ilustración 92: Módulo de autenticación .....	116
Ilustración 93: Módulo ssl .....	116
Ilustración 94: Módulo del remitente .....	116
Ilustración 95: Módulo de destino .....	117
Ilustración 96: Módulo del asunto .....	117
Ilustración 97: Módulo del cuerpo del mensaje .....	117
Ilustración 98: Módulo del envió del mensaje .....	117
Ilustración 99: Módulo final del email .....	118
Ilustración 100: Módulo de cámara .....	119
Ilustración 101: Módulo IMAQdx.....	119
Ilustración 102: Módulo IMAQ .....	119
Ilustración 103: Módulo de video en la estructura .....	120
Ilustración 104: Módulo IMAQdx grab2.....	120

## Resumen

Ilustración 105: Objeto image .....	120
Ilustración 106: IMAQdx close camera .....	121
Ilustración 107: Menú tools.....	122
Ilustración 108: Menú web publishing .....	123
Ilustración 109: Panel de control final .....	127
Ilustración 110: Funcionamiento célula Peltier.....	129
Ilustración 111: Célula Peltier .....	129
Ilustración 112: Conexión célula Peltier .....	130
Ilustración 113: Batería de 12 V .....	130
Ilustración 114: Transformador de 12 V a 5 V .....	131
Ilustración 115: Estructura sin tejado.....	131
Ilustración 116: Estructura con tejado.....	132
Ilustración 117: Disposición de las células Peltier.....	132
Ilustración 118: Canales de cultivo .....	133
Ilustración 119: Deposito .....	133
Ilustración 120: Cuadro general eléctrico del prototipo .....	134
Ilustración 121: Cuadro general eléctrico 2 .....	135

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composicion de la solución.....	30
Tabla 2: Parámetros de cultivo .....	59
Tabla 3: Parámetros ambientales de la ubicación .....	62
Tabla 4: Tabla de conexiones .....	136
Tabla 5: Tabla de conexiones del cable plano .....	137

# 1. RESUMEN

En este trabajo se desarrolla la creación e implementación de un invernadero, así como su automatización y monitorización vía radio en tiempo real. Para ello, se ha llevado el estudio de sus diferentes partes, tanto a nivel mecánico, electrónico como informático.

En cuanto a su estructura se han analizado diversos tipos de invernaderos y se ha elegido el más óptimo, a dos aguas, y se ha calculado dicha estructura con CYPE.

Para su automatización, se han elegido diversos sensores y actuadores que permitan controlar las condiciones dentro del invernadero de modo que no se ponga en peligro nuestro cultivo, todo ello usando un microcontrolador Arduino.

Y para su monitorización, se han transmitido todos los datos capturados por nuestro microcontrolador a LabView, con el fin de mostrarlos de una manera gráfica, todo ello vía radio y vía web.

A su vez, se ha llevado a cabo la construcción de un prototipo con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del proyecto.

## 1.1. PALABRAS CLAVE

Invernadero, automatización, monitorización, Arduino, LabView

## 2. ABSTRACT

This work develops the creation and implementation of a greenhouse, as well as its automation and monitoring vía radio in real time. To this end, it has taken the study of its different parts, both mechanically, electronic and computer.

Regarding its structure, different types of greenhouses have been analyzed and the most optimum has been chosen, at two waters, and this structure has been calculated with CYPE.

For its automation, we have chosen different sensors and actuators that allow to control the conditions inside the greenhouse so that our culture is not endangered, all using an Arduino microcontroller.

And for monitoring, we have transmitted all the data captured by our microcontroller to LabView, in order to display them in a graphical way, all vía radio and vía the web.

In turn, the construction of a prototype has been carried out in order to compromise the correct operation of the project.

### 2.1. KEYWORDS

Greenhouse, automation, monitoring, Arduino, LabView

### 3. INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento poblacional mundial están surgiendo problemas para abastecer de alimentos a todo el mundo, unido a la necesidad incipiente de producir más en espacios más pequeños y de una manera rápida y limpia, los agricultores se están decantando por implantar invernaderos.

Con las consecuentes ventajas:

- Intensificación de la producción
- Aumento del rendimiento
- Mayor protección a los fenómenos meteorológicos
- Uso más eficiente de los fertilizantes
- Mayor control de plagas
- Posibilidad de cultivar todo el año
- Posibilidad de cultivar fuera de temporada
- Obtención de productos en regiones con condiciones restrictivas
- Obtención de productos de alta calidad
- Mayor comodidad y seguridad

#### 3.1. MOTIVACIÓN

Basándonos en los diversos estudios y análisis, en este proyecto voy a llevar a cabo la implementación de un invernadero hidropónico.

Las principales motivaciones que me han llevado a elegir este tipo de invernadero son las siguientes:

- Mantenimiento de las condiciones óptimas para el máximo rendimiento fotosintético,
- Maximización del aprovechamiento energético proveniente de la fotosíntesis para incrementar el rendimiento de los cultivos.
- Mejora del aprovechamiento del agua.
- Optimización del espacio, ya que los requerimientos de superficies son menores para una misma producción que en sistemas de cultivo tradicional
- Reducción de los ciclos de cultivo. El desarrollo de las plantas es más rápido

- Disminución de los gastos de operaciones de cultivo. Facilitación de la mano de obra
- Resolución de los problemas que genera el agotamiento del suelo

## 3.2. OBJETIVOS

Para la realización de este proyecto me he propuesto los siguientes objetivos:

Creación de un sistema de invernadero hidropónico automatizado con diferentes sensores y actuadores para el correcto desarrollo de los diferentes cultivos sin la necesidad de intervención humana en el proceso. Permitiendo así mismo la captura de datos vía radio y su monitorización en tiempo real incluso a través de internet, de modo que cualquiera pueda acceder a él y controlarlo desde cualquier punto del planeta.

## 3.3. ANTECEDENTES

En cuanto a los antecedentes, hay que hacer referencia a dos corrientes: los invernaderos y la hidroponía.

En cuanto a los invernaderos, en 1850 se dieron cuenta que, al cultivar las uvas dentro de un habitáculo calefaccionado hecho con alta calidad de cristales, las plantas crecían rápidamente y aumentaban su rendimiento, y que al darles más luz y si el ambiente cálido era permanente, entonces su producción mejoraba eficazmente.

La diversidad en clima y disponibilidad de recursos de las diferentes regiones ha hecho que no exista una estructura universal de invernadero, teniendo este en muchos casos un desarrollo local.

En España, el tipo parral es sin duda una de las estructuras más frecuentes. La estructura básica está hecha de postes metálicos o de madera apoyados verticalmente en zapatas de cemento individuales y unidos unos a otros por medio de alambres de tensión que corren a lo largo de su parte superior. Los alambres de tensión también sirven como soportes de las dos redes de alambre entre las que se sitúa el filme a manera de sándwich. La pendiente del techo es pequeña ( $8-12^\circ$ ), aunque desde hace años se están implementando invernaderos con mayores pendientes ( $20-25^\circ$ ) para aumentar la radiación y evitar que el agua de lluvia entre en el invernadero.





*Ilustración 1: Invernadero a dos aguas*

Sin embargo, como el invernadero que vamos a llevar a cabo es para uso doméstico, la estructura tendrá que adaptarse al espacio en el que lo vayamos a colocar.

En cuanto a la hidroponía, surge como tal en el 1100, principalmente los aztecas, pero también otras tribus indias de América del Sur y México, utilizaban balsas flotantes, llamadas chinampas, para aumentar sus tierras de cultivo: usaban tallos entrelazados de juncos, cañas y maíz para la construcción de "islas" en los lagos. Sobre estas parcelas colocaban el lodo de tierra volcánica. Estas islas flotantes eran entonces utilizadas para producir cultivos alimentarios. Las plantas obtenían su nutrición tanto del lodo como de las raíces bajo el agua. Los lagos eran muy ricos en sales disueltas, y el agua estaba fresca y bien oxigenada.

En 1699, John Woodward, un historiador naturalista interesado en botánica, también miembro de la Real Sociedad de Inglaterra, realizó el primer experimento que demuestra que las plantas obtienen su alimento de la tierra, y por medio del agua. En lo que fue el primer experimento de cultivo hidropónico, Woodward demostró que las plantas crecían mejor en el agua de los ríos que en la más pura agua destilada. Él demostró que las plantas debían extraer del agua algo que las ayudaba a crecer. También cultivó plantas en agua dentro de la cual ponía tierra, demostró que mientras más tierra hubiese en el agua, mejor sería el crecimiento, lo que significaba que las plantas también debían beneficiarse de algo que estaba dentro de la tierra.

En 1860, un científico alemán, Julius Von Sachs, publica la fórmula de una solución nutritiva que se puede disolver en agua para cultivar plantas.

Del 1940 al 1944, se llevó a cabo el primer uso de la hidroponía a gran escala. En las Islas del Pacífico, el ejército de los Estados Unidos se enfrentaba al reto de alimentar a un gran número de soldados. Los suministros de alimentos, sobre todo frescos, eran

peligrosos de enviar, y difíciles de cultivar en esas islas rocosas donde la tierra está a menudo saturada de sal y el agua es escasa. Por lo que utilizaron un sistema de lecho de grava desarrollado por Robert y Alice Withrow en la Universidad de Purdue, el llamado "Sistema de nutricultura". Este sistema fue la base de lo que ahora se denomina "inundación y drenaje" o "flujo y reflujo". En este sistema, los lechos estaban llenos de grava que, inundada con una solución nutritiva unas cuantas veces al día, permitía un rápido crecimiento de los cultivos vegetales aptos para el consumo.

Un ejemplo del uso que se le está dando a la hidroponía es en la carrera espacial: el Sistema de Producción Vegetal (Veggie) es un proyecto de investigación desarrollado por Orbital Technologies Corporation (ORBITEC) durante 2013 en Madison, Wisconsin. Está diseñado para cultivar plantas a bajo costo con más rendimiento y con un alto valor nutricional en el espacio exterior.

Este mecanismo permite desarrollar organismos vegetales a través de una cámara, donde las plantas crecen con la ayuda de sustratos, sin necesidad de utilizar suelo. Veggie es una herramienta útil con la que se pueden producir alimentos para el autoconsumo que sean nutritivos, seguros y frescos en cualquier condición.

Su objetivo principal es observar el desarrollo de diferentes vegetales en la estación espacial y analizar qué tan viable es producir alimentos durante los viajes espaciales de larga duración o en las misiones de colonización de otros planetas.

Está integrada por tres módulos, el primero cuenta con luces LED de distintos colores (rojo, azul y verde) en la parte superior, que al iluminar a las plantas le ayuda a su crecimiento; posteriormente se encuentra un contenedor en la parte inferior como soporte para colocar el sustrato, este permite mantener hidratados a los cultivos, ya que está conectado a un depósito de agua, y el tercer módulo está compuesto por una cubierta que protege los cultivos.



*Ilustración 2: Veggie de la NASA*

## 3.4. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Para poder llevar una organización del tiempo necesario para la realización de este proyecto he desarrollado el siguiente diagrama de Gantt:

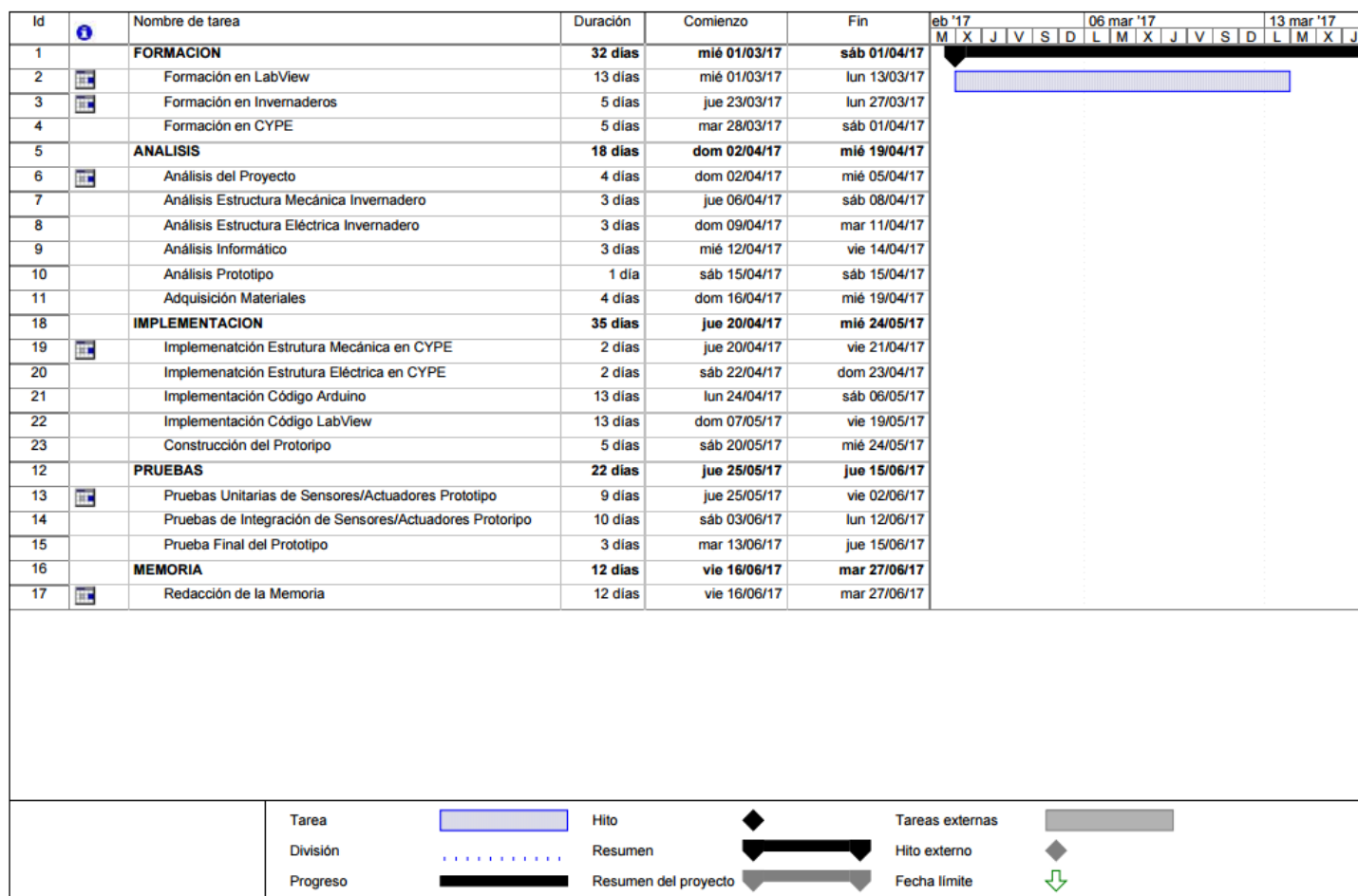
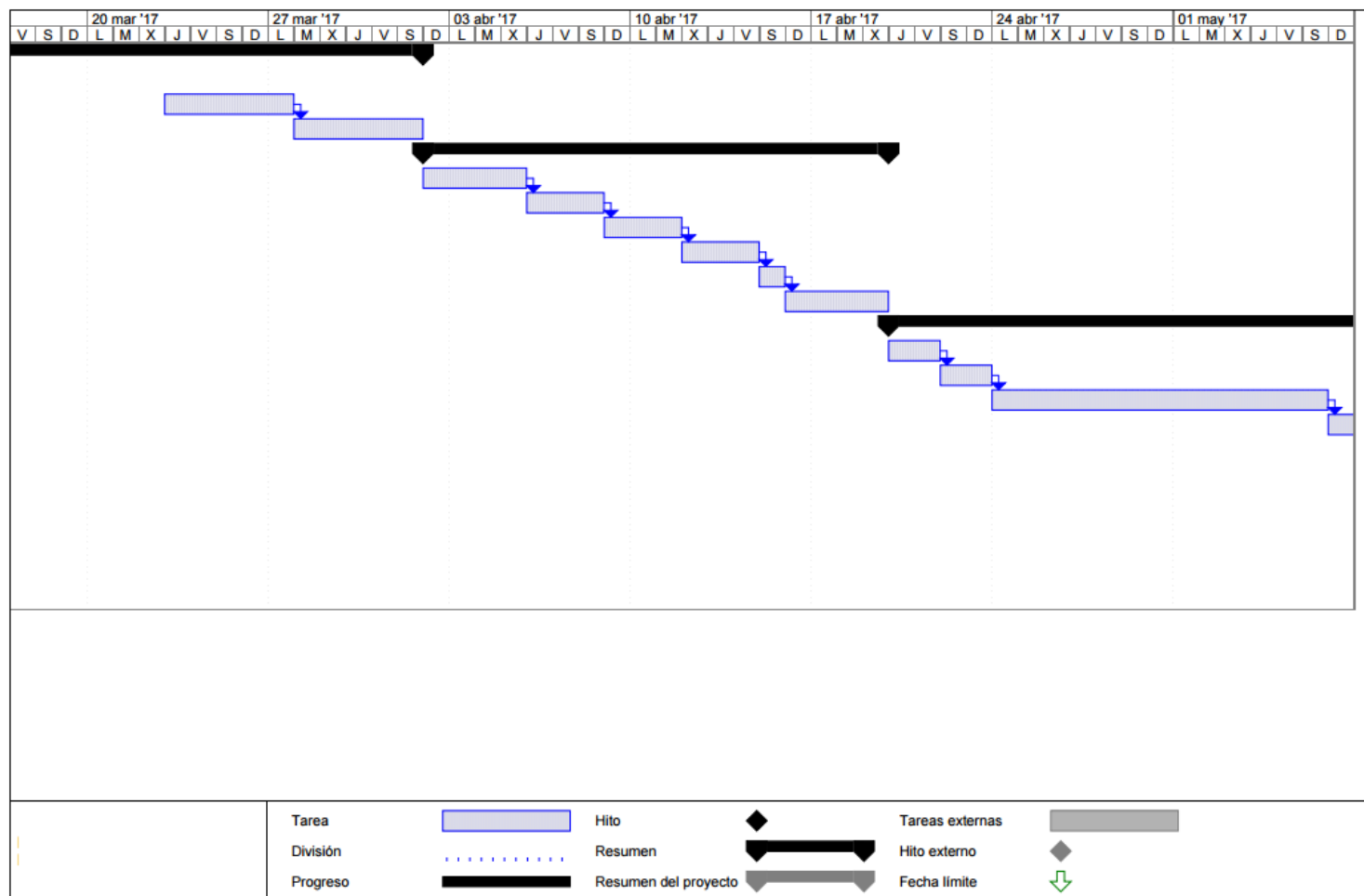


Ilustración 3: Diagrama de Gantt 1


*Ilustración 4: Diagrama de Gantt 2*

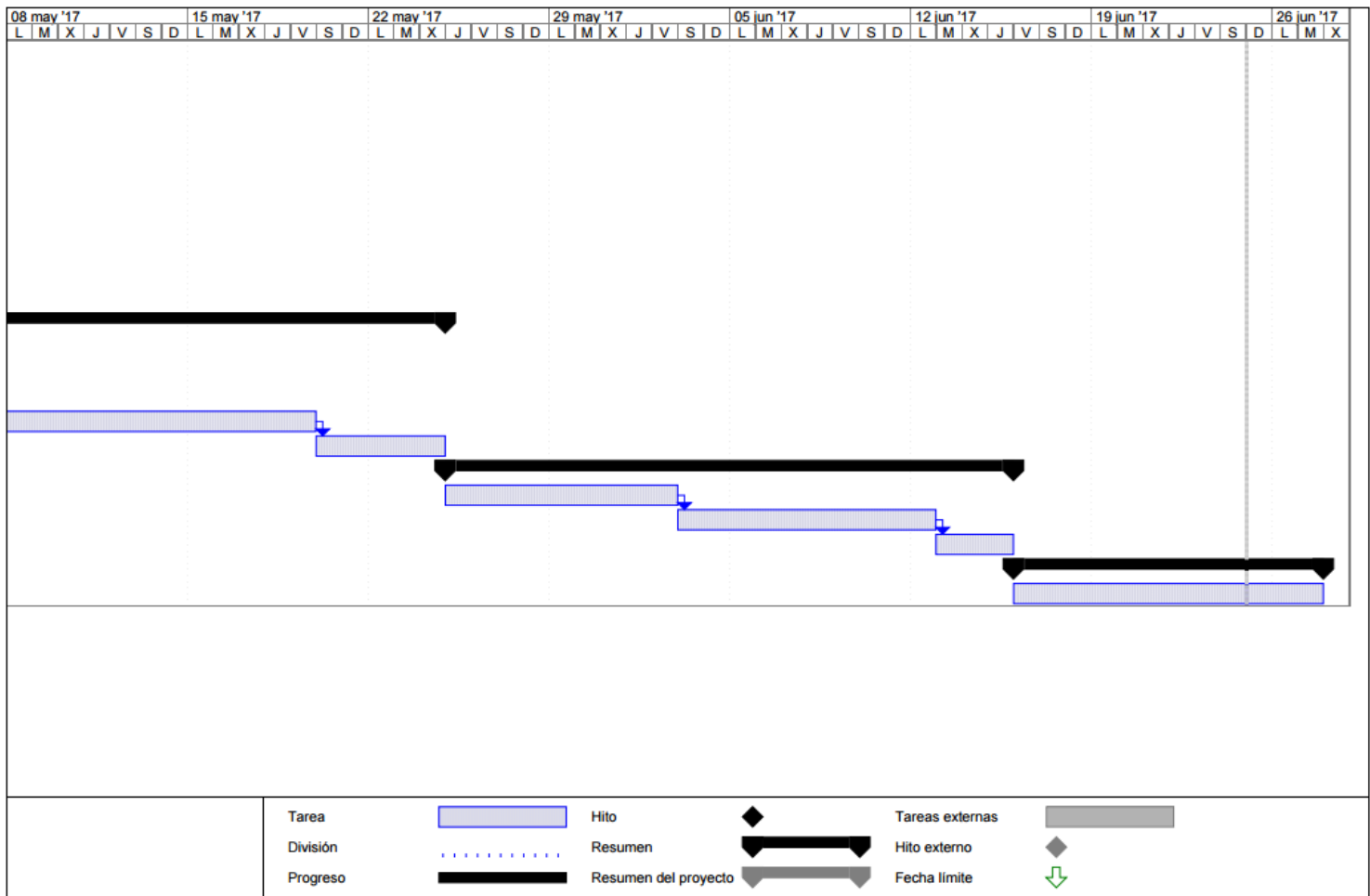


Ilustración 5: Diagrama de Gantt 3

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. HIDROPONIA

#### 4.1.1. Definición<sup>1</sup>

La palabra hidroponía proviene del griego hidro=agua, y ponos=labor. Hidroponía es la técnica de producción o cultivo sin suelo, en la cual se abastece de agua y nutrientes a través de una solución nutritiva completa y brindándole las condiciones necesarias para un mejor crecimiento y desarrollo de la planta.

#### 4.1.2. Ventajas e inconvenientes<sup>2</sup>

Ventajas técnicas de la hidroponía:

- Ideal balance de agua, oxígeno y nutrientes.
- Control eficiente y fácil del pH y la salinidad.
- Ausencia de malezas.
- Ausencia de plagas y enfermedades en la raíz, al menos inicialmente.
- Eficiencia y facilidad de esterilización.

Ventajas económicas de la hidroponía:

- Mayor calidad en los productos cosechados.
- Mayor uniformidad en la cosecha.
- Ahorro en agua y fertilizantes por kilogramos producido.
- Se puede usar agua dura o de cierta salinidad.
- Mayor limpieza e higiene en los productos obtenidos.
- Posibilidad de varias cosechas al año.
- Altos rendimientos por unidad de superficie.
- En poca superficie se puede lograr un alto rendimiento.

---

<sup>1</sup> Manuel de hidroponía. Oasis Easy plant.

<sup>2</sup> José Beltrano. Cultivo en hidroponía

- Sin la limitante del suelo, puede producirse en cualquier sitio incluyendo los ambientes urbanos.

Desventajas de la hidroponía:

- Inversión inicial elevada.
- Desconocimiento de la técnica.
- Delicada (mucho cuidado con los detalles).
- Falta de equipo e insumos nacionales.

### 4.1.3. Tipos<sup>3</sup>

Un sistema hidropónico, es aquel sistema de producción en el cual las raíces de las plantas son irrigadas con una solución nutritiva y en el que, en vez de suelo, se puede usar o no un sustrato. Dentro de los sistemas existen algunas variantes dependiendo del medio de cultivo en donde se desarrollan las raíces de las plantas.

Por lo tanto, existen dos tipos diferenciados: cultivo con sustrato y sin sustrato.

#### 4.1.3.1. Cultivo con sustrato

Son sistemas que usan sustratos como medios de cultivo, en los cuales se le otorga a la raíz un balance entre los poros que retienen la solución y los poros más grandes que proporcionan oxígeno a la raíz o en su defecto que solo sirvan como un medio sólido de apoyo para el anclaje de las raíces y desarrollo de las plantas sin reaccionar con la solución nutritiva. Las funciones asignadas al sustrato son:

- Retener y dar la solución nutritiva a la raíz (agua, nutrientes, pH, CE, etc.)
- Brindar oxígeno a la raíz
- Proporcionar temperatura adecuada a la raíz.
- Dar obscuridad a la raíz.
- Ayudar al anclaje y soporte de la planta

---

<sup>3</sup> Manuel de hidroponía. Oasis Easy plant.

- Amortiguar los cambios que se den en la solución nutritiva o en el ambiente protegiendo a la raíz.

Existen numerosos tipos de sustratos usados como la arena, cascarilla de arroz, aserrín, turba, vermiculita, perlita, lana de roca y recientemente espuma fenólica. En estos sistemas el sustrato debe estar contenido en contenedores que proveen un aislamiento entre el medio de crecimiento y el suelo natural, pueden ser tinas construidas, canaletas, macetas o bolsas de plástico.

El volumen de sustrato necesario para cultivar depende en una gran medida de sus características físicas (retención de humedad y oxigenación), además de la eficiencia y exactitud del sistema de riego, y la distribución y el manejo del cultivo para cada especie.

Dependiendo del tipo de contenedor y su disposición en el invernadero existen numerosas variantes, dentro de ellas podemos destacar las siguientes técnicas:

#### *4.1.3.1.1. Cultivo en macetas de Bentley*

Fue desarrollada por el Dr. Maxwell Bentley y apareció por vez primera en 1974 y responde a la idea de implementar métodos más baratos, pero igualmente recientes, de cultivo hidropónico.

En vez de tinas se utilizan macetas (bolsas de polietileno negro grueso) rellenas con un sustrato especial, en donde crecen plantas generalmente grandes como tomate o pepino. Las bolsas se sostienen por ladrillos huecos de hormigón, cuyas cavidades también se rellenan con sustrato, permitiendo el crecimiento de plantas más pequeñas (lechuga, por ejemplo).

El sistema de irrigación es parecido al riego por goteo, sólo que en vez de goteros tiene boquillas que rocían de solución nutritiva a la superficie del sustrato, a intervalos regulares de tiempo durante el cual, el reloj acciona el interruptor que prende y apaga la bomba.

Este sistema de producción ha sufrido algunas modificaciones, actualmente se maneja bolsas de plástico (blanco por fuera y negro por dentro) que existen de diferentes tamaños, pero con el mismo principio, utilizando un sistema de riego por goteo para hacer más eficiente el riego con la solución nutritiva.



#### 4.1.3.1.2. *Cultivo en tubos verticales*

Son cultivos verticales en tubos de polietileno rellenos con sustratos ligeros cuyos largos van desde los 0.5 a 2 metros. Estos tubos pueden ser soportados verticalmente amarrándolos a la estructura del invernadero o haciéndoles soportes individuales con cintas de madera.

La irrigación es a base de riego por goteo, requiriéndose de dos a cuatro litros diarios de solución por tubo. La solución nutritiva, generalmente no se recircula dejándose drenar desde la base de los tubos. Cada uno o dos meses se da un lavado con agua sola a fin de eliminar sales que pudieran acumularse. Este sistema es adecuado para cultivos de pequeño porte como fresas, lechugas, espinacas, acelgas, etc., los cuales normalmente requieren una gran área de invernadero con utilización mínima del espacio vertical. Son apropiados para usarse en los huertos familiares o como curiosidad decorativa.



*Ilustración 6: Cultivo en tubos verticales*

#### 4.1.3.1.3. *Cultivo en barras y bolsas de cultivo (slabs)*

Es una técnica reciente, originada en Dinamarca y Suecia, para producir hortalizas y especies ornamentales de alto valor comercial como el tomate, pepino, pimiento y rosa en sustratos que se venden listos para usarse, en bolsas de plástico.

Se distribuyen en hileras en el invernadero y pueden estar colocados sobre canaletas que recolecten el exceso de solución nutritiva para volverla a utilizar. El riego se realiza a través de espaguetis y piquetas.

Inicialmente el sustrato usado fue la "lana de roca", actualmente hay presentaciones de fibra de coco y espuma fenólica. Esta última en particular ha demostrado ahorros significativos de más del 50 % en el consumo de la solución nutritiva y con un manejo técnico preciso da beneficios significativos en el incremento y calidad de la producción (inicio anticipado del periodo fructificación y grados Brix y sobre todo el ahorro de más del 50% de la solución nutritiva (agua y nutrientes) en comparación con otros sustratos.

Actualmente, existen diferentes presentaciones de diferentes formas y volúmenes que van entre los 5 a 12 L dependiendo de la especie, el número de plantas y la distribución es que se elija para su cultivo.



*Ilustración 7: Cultivo en bolsas de cultivo*

#### **4.1.3.2. Cultivo en solución**

En estos sistemas, las raíces de las plantas se encuentran sumergidas parcial o totalmente en una solución con los elementos nutritivos disueltos en ella. La oxigenación de la raíz es un factor muy importante para el buen funcionamiento del sistema.

El ahorro en agua y fertilizantes son unas de sus principales ventajas; sus desventajas se deben principalmente al preciso y controlado manejo de la solución nutritiva.

Aunque en este sistema de cultivo se puede usar con éxito un gran número de soluciones nutritivas, se debe resaltar que se trata de un sistema esencialmente carente de capacidad de amortiguamiento (Buffer). Por lo tanto, se requiere de un control muy exacto de la solución nutritiva, sobre todo en lo referente a los niveles de pH, fosfatos y hierro.

#### 4.1.3.2.1. *Cultivo en balsa*

Desarrollado por W.F. Gericke (1929), consiste básicamente en tanques o tinas hechas de cualquier material impermeable. Con una malla fijada a unos 6 a 12 cm del borde superior que sirve de soporte a las plantas en crecimiento. Las raíces descienden a través de los agujeros de la misma hasta sumergirse en la solución nutritiva, misma que, en el tanque, tiene una profundidad de 10 a 15 cm. Encima de la malla se coloca una cubierta de virutas o hebras de madera, turba vegetal, aserrín, etc., de 5 a 10 cm de espesor. Esto impide que la luz llegue a la solución, ayudar en el soporte de las plantas y permitir, hasta cierto grado, la siembra directa de semillas, sobre todo de plantas susceptibles al trasplante. La aireación se efectúa ajustando el nivel de la solución para dejar a las raíces con un pequeño espacio de aire (menos de 5 cm). Eventualmente, se pueden hacer perforaciones en la tina, a la altura del espacio de aire para favorecer la entrada del mismo a las raíces.



*Ilustración 8: Cultivo en balsa*

#### 4.1.3.2.2. *Cultivo en solución con aireación forzada por bomba*

Desarrollado por H.F. Hollis (1964), se diferencia del de Gericke en que la aireación además de dejar un espacio para las raíces, se lleva a cabo forzando aire por medio de una bomba a través de un tubo de cobre o plástico con pequeñas perforaciones (1 mm) hechas a intervalos de aproximadamente 30 cm. Este tubo recorre el fondo del tanque y burbujea aire a través de las perforaciones.

#### *4.1.3.2.3. Cultivo con aireación de cascada*

Desarrollado por Penningsfeld y Kurzmann (1975), se diferencia de las otras técnicas anteriores en que la solución circula por una bomba y se fuerza a través de una tubería que finalmente la descarga de nuevo al tanque desde una altura suficiente como para que la solución se oxigene adecuadamente.

#### *4.1.3.2.4. Cultivo en sistema hidropónicos de flujo profundo*

Desarrollado por Jensen y Collins, (1985) y Massantini Es un método con facilidades para la producción a gran escala.

El sistema de producción consiste de un tanque horizontal de forma rectangular revestido con plástico; los tanques desarrollados por Jensen miden 4.0 m x 70.0 m y 30 cm de profundidad. La solución nutritiva es monitoreada, rellenada, recirculada y aireada. Los tanques rectangulares tienen 2 ventajas diferentes, el sistema de -flujo profundo tiene fajas conductoras con poco rozamiento para plantar y cosechar -flotadores móviles, y las plantas son tendidas en un plano horizontal simple para una máxima interceptación de la luz solar



*Ilustración 9: Cultivo de flujo profundo*

#### *4.1.3.2.5. Técnica de la película nutritiva (NFT)*

La técnica de la película nutritiva comprende una serie de diseños cuyo principio básico es la continua circulación de una película muy delgada de solución nutritiva a través de las raíces de las plantas.

La solución nutritiva es bombeada hacia el extremo más alto de cada canal y fluye por gravedad, pasa por las raíces de las plantas hacia las tuberías de desagüe, pero va



irrigando la parte inferior de las raíces hasta que finalmente cae de regreso al depósito. Una ventaja principal del sistema NFT en comparación con otros sistemas es que requiere menos solución nutritiva.

Se debe mantener un volumen constante en el depósito, lo cual se puede lograr mediante un mecanismo de flotador en sistemas comerciales o con adiciones diarias de solución. Se deben realizar análisis químicos periódicos a la solución para ir sustituyendo las sales que se le van agotando o se puede renovar periódicamente (cada 8 a 15 días).

Aunque las plantas pueden aguantar varias horas sin recibir solución, debido a que las raíces permanecen húmedas durante algún tiempo, lo más conveniente es contar con dos bombas para tener una de repuesto en caso de que la otra se descomponga.

Como ventajas del sistema se mencionan, entre otras, las siguientes:

- Un sistema radical pequeño puede soportar a una planta muy grande.
- No hay pérdida de agua por drenaje, evaporación o filtraciones, sólo se pierde el agua transpirada. Además, como las plantas crecen en una película delgada de solución, la capacidad de almacenamiento es mínima. Ambas condiciones son de valor en zonas áridas.
- No requiere esterilizaciones.
- Se logra gran control sobre el agua y los nutrientes.
- Las plantas cosechadas se remueven fácilmente.
- Los costos de instalación son comparativamente bajos.
- Puede operar casi automáticamente.

Esta técnica está en constante evolución y permite desarrollar la inventiva personal para crear nuevos y mejores diseños. La instalación es tan ligera que se puede utilizar ventajosamente en las azoteas de casas y edificios de grandes ciudades.



*Ilustración 10: Sistema NFT*

#### **4.1.3.2.6. New growing system (NGS)**

Este sistema funciona a través del uso de películas plásticas dispuestas en varias capas funcionando de forma específica. La solución nutritiva hidrata las raíces de las plantas en los primeros niveles, los excedentes descienden a través de otras películas plásticas inferiores para colectarse en el depósito de donde se irrigó y volver a circular.

Como ventajas del sistema podemos mencionar las siguientes:

- En comparación con otros sistemas, es el que requiere menos solución nutritiva, menos aún que el sistema NFT. Por lo tanto, es más fácil calentar o enfriar la solución dependiendo lo que se requiera para obtener temperaturas óptimas para el mejor crecimiento radicular de la planta. Las raíces de las plantas crecen en las primeras capas plásticas sin obstruir el flujo de la solución nutritiva en la capa final para poder colectarse.
- Se logra gran control y optimización del agua y de nutrientes, ya que no hay pérdida por drenaje, evaporación o filtraciones, solo se pierde el agua transpirada por la planta. Como los volúmenes son reducidos, es más fácil desinfectar la solución nutritiva para el control o prevención de enfermedades antes de volverla a usar.
- Se logra un sistema radicular pequeño pero que puede soportar a una planta grande. Las plantas cosechadas se remueven fácilmente.

Para el NGS se recomienda que las plántulas sean germinadas en sustratos que no se desintegren con el flujo continuo de agua y que puedan mantener hidratadas a las raíces.



*Ilustración 11: Sistema NGS*

#### 4.1.4. Tipos de cultivo<sup>4</sup>

La planta es el componente más importante de los sistemas hidropónicos, ya que de la correcta funcionalidad de los demás componentes dependerá la calidad de planta que se tenga, y, por tanto, los rendimientos.

Las plantas que comúnmente se cultivan en hidroponía son especies de alto valor comercial, las cuales se aprovechan por sus usos alimenticios u ornamentales, dentro de ellas podemos mencionar:

- Hortalizas:
  - Hortalizas de hoja: Lechuga, acelga, espinaca, col, apio, arúgula, berros.
  - Hortalizas de flor: Brócoli, coliflor, alcachofa, etc.
  - Hortalizas de fruto: Tomate, pimiento morrón, pepino, chile manzano, melón, sandía, calabacín, berenjena y fresa...
- Especies aromáticas: Albahaca, menta, cilantro, perejil.

---

<sup>4</sup> Victor Paye (2015). Hidroponía de altura

- Ornamentales: Rosas, anturios, nochebuenas, orquídeas, crisantemos, lilis, gerberas, etc.

Además del uso o parte aprovechable de las plantas, para cultivar en hidroponía se debe poner atención en la raíz y por ello enlistamos las condiciones óptimas para su mejor desarrollo:

- Agua, la necesaria todo el tiempo.
- Nutrimientos minerales esenciales (en cantidades suficientes y balanceadas).
- Oxígeno suficiente para la respiración celular.
- Temperatura adecuada para el funcionamiento óptimo de la raíz.
- Sin plagas, inóculos de enfermedades o malezas.
- Sin sales nocivas, elementos tóxicos o desbalances de pH y CE.
- Oscuridad.
- Espacio para crecer lo necesario para funcionar bien.

#### 4.1.5. *Solución nutritiva*<sup>5</sup>

La nutrición de las plantas en hidroponía, se brinda a través de una solución nutritiva balanceada y equilibrada que se formula a partir de un análisis de agua, la especie vegetal a cultivar, su etapa fenológica y las condiciones ambientales que se tengan. La solución nutritiva es un conjunto de sales minerales disueltas en el agua, que puede variar su proporción dependiendo de la especie y la etapa fenológica de la planta.

De acuerdo con Arnon y Stout (1939), citados por Sánchez y Escalante (1989), para que un nutrimento se considere como esencial para las plantas debe cumplir con tres requisitos:

- Las plantas deben ser incapaces de completar su ciclo de vida en ausencia del elemento mineral.
- Las funciones del elemento no podrán ser sustituidas por otro elemento.
- El elemento debe estar directamente involucrado en el metabolismo de las plantas.

---

<sup>5</sup> Victor Adan Jimenez (2015). Sustratos y accesorios hidropónicos



Los minerales de los que se ha demostrado la esencialidad son los siguientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), zinc (Zn) y molibdeno (Mo). Se ha demostrado también que varios otros minerales como el sodio (Na), silicio (Si), aluminio (Al), cobalto (Co) níquel (Ni) y selenio (Se), sin ser esenciales, pueden estimular el crecimiento de varias especies vegetales.

La clasificación de estos nutrimentos por su concentración en el tejido vegetal es la siguiente:

- Macronutrientes: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S
- Micronutrientes: B, Cl, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Si, Co, Ni.

Los trabajos de investigación de varios científicos a lo largo del tiempo han dado como resultado propuestas de soluciones nutritivas típicas. Es difícil decir que pueda haber una solución nutritiva mejor que otra, en general son bastante similares en su concentración, diferenciándose mayormente por los tipos de cultivos producidos. Por otro lado, la mayoría de las soluciones que actualmente existen están basadas en el primer trabajo de Hoagland y Arnon (1950).

Existen varias formas de expresar concentración en soluciones nutritivas:

- Gramos por soluto disueltos en cada 1000 litros de agua (g/1000L)
- Miligramos de soluto disueltos en un litro de agua (mg/L)
- Partes por millón, se refiere a gramos de soluto disueltos en un millón de gramos de disolvente (agua).  $\text{ppm} = \frac{\text{g}}{1\,000\,000\text{ g de agua}} = \frac{\text{g}}{1000\text{ L}} = \text{mg/L}$
- Equivalente químico es igual a las partes por millón multiplicado por el peso atómico y dividido entre el número de valencias del ion.  $\text{eq} = (\text{ppm} \cdot \text{pa}) / \# \text{ de valencias del ion.}$

En el siguiente cuadro mostramos algunas de ellas, las cuales su concentración está expresada en ppm.

ION O RADICAL	I	II	III	IV	V	VI
$\text{NO}_3^-$	196	168	70	210	46	168
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	31	40	40	84	0.12	31
$\text{SO}_4^{=}$	64	48	112	64	8.6	112
$\text{K}^+$	234	156	156	331	10	273
$\text{Ca}^{++}$	160	160	160	168	133	180
$\text{Mg}^{++}$	48	36	36	48	22	48
$\text{Na}^+$	-	30	30	-	23	-
$\text{NH}_4^+$	14	-	70	-	1.7	-

I - Hoagland y Arnon (1938).

II - Long y Hewitt (1966).

III - Hewitt (1966).

IV - Cooper (1975).

V - Solución desplazada de un suelo basáltico fértil. Benians et al. (1977).

VI - Solución nutritiva Steiner (1980).

Tabla 1: Composición de la solución

#### 4.1.5.1. Factores a considerar en la solución nutritiva

Para llevar a cabo una óptima solución nutritiva hay que controlar los siguientes factores:

##### 4.1.5.1.1. Calidad del agua

Todas las fuentes de agua naturales contienen algunas impurezas, algunas son beneficiosas para el crecimiento de las plantas y otras son perjudiciales; si se pretende iniciar un proyecto de hidroponía de tamaño comercial, se debe hacer un análisis químico del agua que se vaya a usar como fuente para evitar posibles problemas nutricionales. El análisis debe contemplar cuando menos:

- Sólidos totales (idealmente no debe sobrepasar los 250 ppm, si el valor es de 3000 ppm no deberá usarse).
- Cloruros (si los sólidos totales exceden los 500 ppm).
- Dureza (para ajustar los niveles de calcio y magnesio en la solución nutritiva).
- Metales pesados (deben estar libres de sulfuros y cloros ya que en ciertas cantidades son tóxicos para las plantas).

##### 4.1.5.1.2. Temperatura de la solución

La temperatura radicular es muy importante para la mayoría de cultivos, ya que, si no se encuentra en su temperatura ideal, la planta detendrá su crecimiento y en algunos casos, se puede manifestar deficiencias nutrimentales. De manera general, la temperatura de las raíces no debe bajar de 13°C ni estar sobre los 30°C, puede variar dependiendo del cultivo el rango, por ejemplo, la lechuga crece mejor a temperaturas radiculares más bajas de ese rango, mientras que el pepino crece mejor a temperaturas radiculares más altas.

#### **4.1.5.1.3. Oxigenación**

En la zona radicular se debe tener muy buena oxigenación, ya que los pelos radiculares requieren oxígeno para realizar sus procesos fisiológicos. En los cultivos en solución, se menciona por algunos autores como Ellis y Swaney que el nivel adecuado en la solución nutritiva debe ser entre las 5 a 8 ppm a una temperatura de 15.5 °C de la solución.

#### **4.1.5.1.4. pH**

El rango que debe manejarse es de 5.5 a 6, aunque algunos lo manejan hasta 6.5. Si el pH se encuentra por debajo o por arriba de este rango algunos elementos reaccionan y forman compuestos insolubles que posteriormente son precipitados y depositados en el fondo. Por lo que, en la preparación de las soluciones nutritivas inicialmente se debe acondicionar el pH en el rango adecuado para favorecer la mejor disolución de los fertilizantes usados como fuentes. De igual manera se sugiere determinar el pH cada 4 u 8 días y corregirlo en consecuencia.

#### **4.1.5.1.5. Conductividad eléctrica**

Es una medida indirecta de cuantificar la concentración de aniones (nitratos, fosfatos sulfatos, etc.) o cationes (potasio, calcio, magnesio, etc.), en otras palabras, es una medida aproximada para saber si se está aplicando la cantidad suficiente de nutrimentos en la solución nutritiva y si nuestro cultivo los está asimilando. Para esto, se debe medir la CE en los difusores de la solución nutritiva (entrada) y en el drenaje (salida). Una CE adecuada será por regla, cuando la diferencia entre ambas sea de una unidad, es decir, que la CE de la salida sea mayor que la de entrada. La CE ideal para cada cultivo puede variar significativamente dependiendo de la especie cultivada y etapa fenológica del mismo, por ejemplo, para tomate en plántula la CE ideal debe estar entre 1 a 1.5 dS/m, mientras que para la etapa vegetativo-reproductivo debe ser entre 1.5 a 3.5 dS/m, el caso de tomates de especialidad que requieren de cierta cantidad de grados Brix (dulzor) la CE debe de ser más elevada.

#### **4.1.5.1.6. Control del volumen de la solución**

El fenómeno de evapotranspiración ocasiona que las plantas tomen proporcionalmente mucha más agua que elementos nutritivos de la solución nutritiva, haciendo que con el paso del tiempo se vaya haciendo más concentrada, lo que hace que progresivamente se incremente el pH y la presión osmótica de la solución dificultando con esto la absorción de agua por las raíces. Generalmente las soluciones nutritivas se elaboran con un rango de 0.5 a 2 atmósferas. Si la concentración de sales es muy alta, el crecimiento de las plantas se para e incluso puede morir por desecación al salir agua de la raíz.

Para mantener la presión osmótica adecuada y los niveles correctos de nutrimentos en la solución basta restituírle periódicamente el agua perdida por la evapotranspiración, esto puede hacerse semanalmente y renovarse periódicamente. La solución que se desecha puede usarse para regar y fertilizar plantas del jardín. El uso de solución nutritiva por tiempo indefinido solo se realiza en unidades de producción comerciales con un control de la concentración y la el monitoreo adecuado de la acumulación de ciertos iones para no tener problemas de toxicidad.

### *4.1.6. Condiciones climáticas<sup>6</sup>*

Las características climáticas de una zona deben analizarse con relación a las necesidades de las plantas que se desean cultivar.

#### *4.1.6.1. Luz*

La energía solar es el factor ambiental más influyente sobre el crecimiento de las plantas, pues de ella depende la mayoría de los procesos biológicos, incluyendo la fotosíntesis, que es el proceso de conversión de la materia inorgánica en orgánica, constituyendo la base de todas las cadenas alimenticias de la tierra.

La luz también interviene en los procesos de movimiento y formación de las plantas en los tropismos, la orientación, el alargamiento del tallo, la formación de pigmentos y la clorofila. Al transformarse de energía luminosa en energía calorífica, la luz, interviene en todos los procesos bioquímicos de los vegetales. Así la luz actúa sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas verdes, como fuente energética para la asimilación fotosintética de CO<sub>2</sub>, así como fuente primaria de calor y estímulo para la regulación del desarrollo de todos los tejidos vegetales.

Cada especie requiere de una cantidad específica de radiación luminosa para desarrollar la fotosíntesis y expresar su potencial productivo. Si falta luz, las plantas tienden a alargarse y crecen con tallos y ramas débiles. Por el contrario, si una planta tiene más iluminación de la requerida, crecerá lentamente, presentara tallos duros, hojas arrosadas y sus flores serán de colores pálidos.

#### *4.1.6.2. Temperatura*

La temperatura afecta directamente las funciones de la fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración,

---

<sup>6</sup> Manuel de hidroponía. Oasis Easy plant.

actividades enzimáticas, etc. Las reacciones biológicas de importancia no pueden desarrollarse si la temperatura está por debajo de 0°C, o por encima de 50°C. El límite inferior corresponde al punto de congelación del agua y el superior a la desnaturalización de las proteínas. La temperatura óptima varía según las especies, pero casi siempre está comprendida entre 10° y 25°C. Las plantas pueden tolerar temperaturas más bajas durante períodos cortos de tiempo, pero debe evitarse acercarse a este valor letal.

#### *4.1.6.3. Humedad relativa*

Es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la que tendría si estuviera completamente saturada. Se expresa en porcentaje. La humedad ambiental afecta el metabolismo de la planta, ya que, si la humedad es demasiado alta, por ejemplo, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes, y si es demasiado baja se cierran las estomas de la planta y se reduce la tasa de fotosíntesis. Una humedad relativa alta también tiene influencia sobre la presencia de enfermedades principalmente fungosas.

#### *4.1.6.4. Dióxido de carbono*

El CO<sub>2</sub> es el nutriente más importante de los cultivos, ya que contiene aproximadamente un 44 % de carbono y una cantidad similar de oxígeno. El aire es la única fuente de CO<sub>2</sub> para las plantas y su contenido no excede el 0,03 % (300 ppm).

A pesar de la importancia del CO<sub>2</sub>, se ha prestado poca atención a la denominada nutrición carbónica. Se sabe que la velocidad de crecimiento de la planta decrece considerablemente cuando la concentración mínima de CO<sub>2</sub> desciende por debajo de 300 ppm y además la mayoría de los cultivos producen mucho más cuando la concentración de CO<sub>2</sub> disponible excede de este nivel. Un ejemplo es el caso del tomate que se estima que la tasa de crecimiento bajo condiciones normales de luz disminuye el 80 % cuando la concentración de CO<sub>2</sub> disponible cae por debajo de 100 ppm y aumenta el 20 % cuando la concentración alcanza 1.000 ppm.

#### *4.1.6.5. Control de las condiciones climáticas*

Existen diversas tecnologías que ayudan a reducir el impacto negativo de los factores ambientales y dar las mejores condiciones para los cultivos. La tecnología a emplear va a depender del tipo de cultivo, de las zonas y de las condiciones económicas de los productores, ya que en general requieren de un costo inicial elevado. La tecnología de los invernaderos es la más utilizada para complementar a los sistemas de producción en hidroponía, ya que es con esta combinación de tecnologías como se han logrado obtener los más altos rendimientos jamás vistos en la historia, pues se consigue un control total de los factores ambientales. Con la hidroponía se logra controlar los

factores edáficos que limitan a la parte de la raíz y con los invernaderos se controlan los factores ambientales que afectan a la parte aérea.

## 4.2. INVERNADEROS<sup>7</sup>

Es una construcción agrícola traslúcida, que tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de plantas de cultivo establecidas en su interior con cierta independencia del medio exterior. La mayoría de invernaderos son de estructura metálica cubierta con materiales tan diversos como vidrio, plásticos, placas de policarbonato, PVC o acrílico, y su objetivo es aislar el cultivo del medio (frío, insectos y lluvia).

Los diferentes cultivos que se establecen en los invernaderos requieren de diferentes condiciones climáticas, así que para darle a cada uno lo que requiere y crear las mejores condiciones para que se desarrolle la planta, se recurre al diseño y equipamiento.

### Ventajas técnicas de los invernaderos

- Control de heladas y de las bajas temperaturas.
- Control de la insolación y de las altas temperaturas.
- Control de la velocidad del viento.
- Control de varias especies de plagas al funcionar como una barrera física.
- Control de los excesos de humedad edáfica y de las enfermedades causadas por ello.
- Menor presencia de enfermedades al controlar vectores, exceso de humedad y daños mecánicos por viento.
- Control de la humedad relativa.
- Posibilidad de controlar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

### Ventajas económicas

- Más altos rendimientos y mayor calidad de productos de alto valor económico.
- Producción continua y más precoz (varios ciclos por año).

---

<sup>7</sup> Artículo: ¿Qué es un invernadero? Extraído de [http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=44](http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=44)

- Programación de las cosechas para fechas en que el mercado ofrece mejores precios.
- Más seguridad de éxito por no depender tanto de los factores meteorológicos.

#### Desventajas de los invernaderos

- Altos costos de instalación y operación.
- Desconocimiento del diseño apropiado.
- Desconocimiento y dificultad técnica de manejo del suelo.
- Desconocimiento y dificultad técnica de manejo del clima.
- Necesidad de mercado seguro.
- Solo rentable para especies de alto valor comercial.

Los invernaderos se pueden clasificar según diferentes parámetros:

1. Según el rango de temperatura a mantener en el invernadero:
  - Invernaderos fríos
  - Invernaderos templados
  - Invernaderos cálidos
2. Según materiales de cubierta:
  - Invernaderos con vidrio
  - Invernaderos con materiales plásticos
    - En placas: policarbonato, polimetacrilato, poliéster...
    - En películas o films: Polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC), etileno vinilo de acetato (EVA)
3. Según su estructura:
  - Invernaderos de madera
  - Invernaderos de acero
  - Invernaderos de hormigón
  - Invernaderos de aluminio
  - Invernaderos mixtos o combinación de lo anterior
4. Según su forma:

- Invernadero capilla
- Invernadero curvo
- Invernadero parral

Otra forma de clasificarlos sería la combinación de varias características los invernaderos anteriores:

### 4.2.1. Tipos<sup>8</sup>

#### 4.2.1.1. Invernadero plano o tipo parral

Este tipo de invernadero es utilizado en zonas con escasa lluvia, aunque no es aconsejable su construcción. En cuanto a la estructura, este invernadero se encuentra constituido por dos partes claramente diferenciadas, una estructura vertical y otra horizontal:

- La estructura vertical está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y los esquineros) o interiores (pies derechos). Los pies derechos intermedios suelen estar separados unos 2 m en sentido longitudinal y 4m en dirección transversal, aunque también se presentan separaciones de 2x2 y 3x4.

Los soportes perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente 30º con respecto a la vertical y junto con los vientos que sujetan su extremo superior sirven para tensar las cordadas de alambre de la cubierta. Estos apoyos generalmente tienen una separación de 2 m, aunque en algunos casos se utilizan distancias de 1,5 m.

Tanto los apoyos exteriores como interiores pueden ser rollizos de pino o eucalipto y tubos de acero galvanizado.

- La estructura horizontal está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, implantadas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero y que sirven para portar y sujetar la lámina de plástico.

Los invernaderos planos tienen una altura de cubierta que varía entre 2,15 y 3,5 m y la altura de las bandas oscila entre 2 y 2,7 m. Los soportes del

---

<sup>8</sup> Diego Luis Valeria Martínez. Los invernaderos de Almería: tipología y mecanización del clima



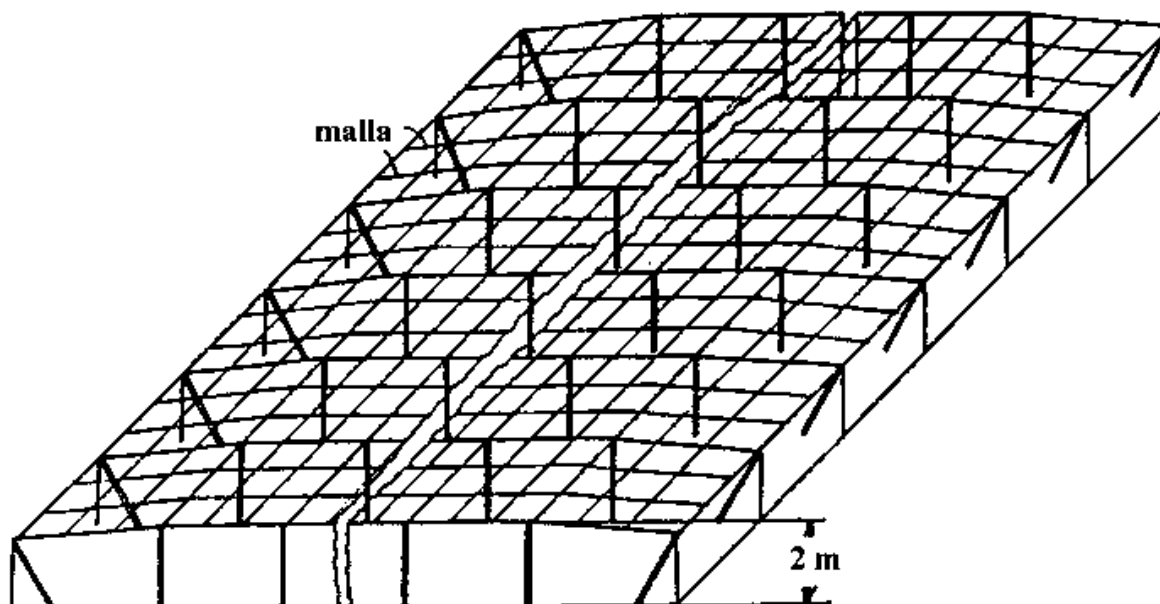
invernadero se apoyan en bloques troncopiramidales prefabricados de hormigón colocados sobre pequeños pozos de cimentación.

Las principales ventajas de los invernaderos planos son:

- Su economía de construcción.
- Su gran adaptabilidad a la geometría del terreno.
- Mayor resistencia al viento.
- Aprovecha el agua de lluvia en periodos secos.
- Presenta una gran uniformidad luminosa.

Las desventajas que presenta son:

- Poco volumen de aire.
- Mala ventilación.
- La instalación de ventanas cenitales es bastante difícil.
- Demasiada especialización en su construcción y conservación.
- Rápido envejecimiento de la instalación.
- Poco o nada aconsejable en los lugares lluviosos.
- Peligro de hundimiento por las bolsas de agua de lluvia que se forman en la lámina de plástico.
- Peligro de destrucción del plástico y de la instalación por su vulnerabilidad al viento.
- Difícil mecanización y dificultad en las labores de cultivo por el excesivo número de postes, alambre de los vientos, piedras de anclaje, etc.
- Poco estanco al goteo del agua de lluvia y al aire ya que es preciso hacer orificios en el plástico para la unión de las dos mallas con alambre, lo que favorece la proliferación de enfermedades fúngicas.



*Ilustración 12: Invernadero tipo parral*

#### 4.2.1.2. Invernadero en raspa y amagado

Su estructura es muy similar al tipo parral, pero varía la forma de la cubierta. Se aumenta la altura máxima del invernadero en la cumbre, que oscila entre 3 y 4,2 m, formando lo que se conoce como raspa. En la parte más baja, conocida como amagado, se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante vientos y horquillas de hierro que permite colocar los canalones para el desagüe de las aguas pluviales. La altura del amagado oscila de 2 a 2,8 m, la de las bandas entre 2 y 2,5 m.

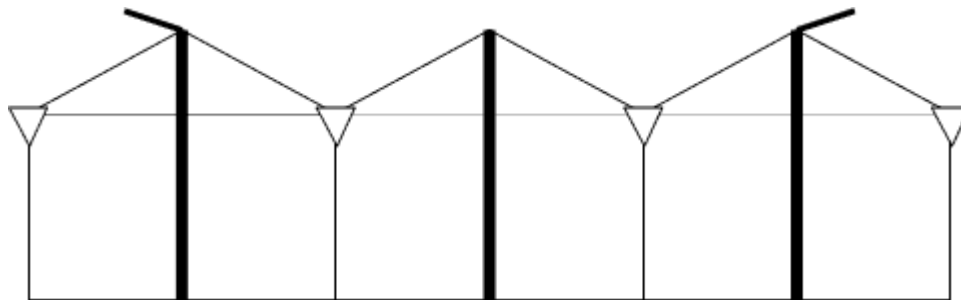
La separación entre apoyos y los vientos del amagado es de 2x4 y el ángulo de la cubierta oscila entre 6 y 20°, siendo este último el valor óptimo. La orientación recomendada es en dirección este-oeste.

Ventajas de los invernaderos tipo raspa y amagado:

- Su economía.
- Tiene mayor volumen unitario y por tanto una mayor inercia térmica que aumenta la temperatura nocturna con respecto a los invernaderos planos.
- Presenta buena estanqueidad a la lluvia y al aire, lo que disminuye la humedad interior en periodos de lluvia.
- Presenta una mayor superficie libre de obstáculos.
- Permite la instalación de ventilación cenital situada a sotavento, junto a la arista de la cumbre.

Inconvenientes:

- Diferencias de luminosidad entre la vertiente sur y la norte del invernadero.
- No aprovecha las aguas pluviales.
- Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.
- Al tener mayor superficie desarrollada se aumentan las pérdidas de calor a través de la cubierta.



*Ilustración 13: Invernadero en raspa y amagado*

#### **4.2.1.3. Invernadero asimétrico o inacral**

Difiere del tipo raspa y amagado en el aumento de la superficie en la cara expuesta al sur, con objeto de aumentar su capacidad de captación de la radiación solar. Para ello el invernadero se orienta en sentido este-oeste, paralelo al recorrido aparente del sol.

La inclinación de la cubierta debe ser aquella que permita que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la cubierta al mediodía solar durante el solsticio de invierno, época en la que el sol alcanza su punto más bajo. Este ángulo deberá ser próximo a  $60^\circ$  pero ocasiona grandes inconvenientes por la inestabilidad de la estructura a los fuertes vientos. Por ello se han tomado ángulo comprendidos entre los  $8$  y  $11^\circ$  en la cara sur y entre los  $18$  y  $30^\circ$  en la cara norte.

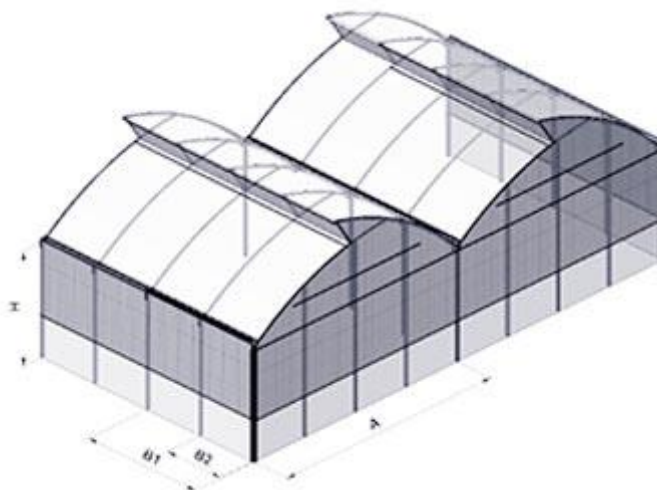
La altura máxima de la cumbrera varía entre  $3$  y  $5$  m, y su altura mínima de  $2,3$  a  $3$  m. La altura de las bandas oscila entre  $2,15$  y  $3$  m. La separación de los apoyos interiores suele ser de  $2 \times 4$  m.

Ventajas de los invernaderos asimétricos:

- Buen aprovechamiento de la luz en la época invernal.
- Su economía.
- Elevada inercia térmica debido a su gran volumen unitario.
- Es estanco a la lluvia y al aire.
- Buena ventilación debido a su elevada altura.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento.

Inconvenientes de los invernaderos asimétricos:

- No aprovecha el agua de lluvia.
- Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.
- Tiene más pérdidas de calor a través de la cubierta debido a su mayor superficie desarrollada en comparación con el tipo plano.



*Ilustración 14: Invernadero Inacral*

#### **4.2.1.4. Invernadero de capilla**

Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas.

Este tipo de invernadero se utiliza bastante, destacando las siguientes ventajas:

- Es de fácil construcción y de fácil conservación.
- Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta.
- La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla. También resulta fácil la instalación de ventanas cenitales.
- Tiene grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia.
- Permite la unión de varias naves en batería.

La anchura que suele darse a estos invernaderos es de 12 a 16 metros. La altura en cumbrera está comprendida entre 3,25 y 4 metros.

Si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia.

La ventilación es por ventanas frontales y laterales. Cuando se trata de estructuras formadas por varias naves unidas la ausencia de ventanas cenitales dificulta la ventilación.



*Ilustración 15: Invernadero de capilla*

#### ***4.2.1.5. Invernadero de doble capilla***

Los invernaderos de doble capilla están formados por dos naves yuxtapuestas. Su ventilación es mejor que en otros tipos de invernadero, debido a la ventilación cenital que tienen en cumbrera de los dos escalones que forma la yuxtaposición de las dos naves; estas aberturas de ventilación suelen permanecer abiertas constantemente y suele ponerse en ellas malla mosquitera. Además, también poseen ventilación vertical en las paredes frontales y laterales.

Este tipo de invernadero no está muy extendido debido a que su construcción es más dificultosa y cara que el tipo de invernadero capilla simple a dos aguas.



*Ilustración 16: Invernadero de doble capilla*

#### 4.2.1.6. *Invernadero túnel o semicilindro*

Se caracteriza por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas.

Los soportes son de tubos de hierro galvanizado y tienen una separación interior de 5x8 o 3x5 m. La altura máxima de este tipo de invernaderos oscila entre 3,5 y 5 m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2,5 a 4 m.

El ancho de estas naves está comprendido entre 6 y 9 m y permiten el adosamiento de varias naves en batería. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero.

Ventajas de los invernaderos tipo túnel:

- Estructuras con pocos obstáculos en su estructura.
- Buena ventilación.
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento y facilita su accionamiento mecanizado.
- Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Fácil instalación.

Inconvenientes:

- Elevado coste.
- No aprovecha el agua de lluvia.



*Ilustración 17: Invernadero de túnel*

#### ***4.2.1.7. Invernadero de cristal o tipo venlo***

Este tipo de invernadero, también llamado Venlo, es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el Norte de Europa.

El techo de este invernadero industrial está formado por paneles de vidrio que descansan sobre los canales de recogida de pluviales y sobre un conjunto de barras transversales. La anchura de cada módulo es de 3,2 m. Desde los canales hasta la cumbrera hay un solo panel de vidrio de una longitud de 1,65 m y anchura que varía desde 0,75 m hasta 1,6 m.

La separación entre columnas en la dirección paralela a las canales es de 3m. En sentido transversal están separadas 3,2 m si hay una línea de columnas debajo de cada canal, o 6,4 m si se construye algún tipo de viga en celosía.

Ventajas:

- Buena estanqueidad lo que facilita una mejor climatización de los invernaderos.

Inconvenientes:

- La abundancia de elementos estructurales implica una menor transmisión de luz.
- Su elevado coste.





*Ilustración 18: Invernadero de cristal*

### 4.2.2. Cubierta<sup>9</sup>

La cubierta de un invernadero es uno de los componentes más importantes a la hora de satisfacer las necesidades de cultivo. En ella factores como transparencia, retención de calor, el rendimiento térmico, flexibilidad, el envejecimiento o la resistencia al fuego son factores decisivos para escoger un buen material.

#### 4.2.2.1. Propiedades

##### 4.2.2.1.1. Propiedades físicas

La elección de un determinado material de cubierta influirá en el tipo de estructura del invernadero, es decir, determinará el peso que debe soportar la estructura por tanto el espacio que debe haber entre pilares, barras de soporte, correas, distancia entre canal y cumbrera y forma del techo.

- **Peso.** Los filmes de plástico tienen poco peso lo que reduce su exigencia en estructuras y por tanto aumenta la uniformidad de la luz en el interior al reducir el sombreado. Los materiales rígidos además de un peso mayor acostumbran a tener un tamaño más reducido con lo cual requieren un mayor número de soportes, e influirá también en una menor estanqueidad.
- **Densidad.** Informa sobre la cristalinidad de los polímeros. Ésta modifica la flexibilidad, permeabilidad y propiedades térmicas del polímero. Una densidad baja facilita la manipulación y el transporte unido o un menor precio.

---

<sup>9</sup> Ángel Gordillo (2009). Labores culturales y recolección de los cultivos ecológicos



- **Espesor.** Las unidades de medida serán milímetros generalmente utilizados para vidrio y plásticos rígidos y micras o galgas para los filmes, 100 m equivalen a 400 galgas. (1 mm = 1000 m). En filmes el espesor recomendado para proteger el cultivo en las bajas temperaturas es de 200 - 800 galgas.
- **Resistencia a la rotura** (especialmente en zonas de granizo, nieve o viento), resistencia a la deformación por altas temperaturas, resistencia a la rotura por bajas temperaturas.
- **Envejecimiento.** El envejecimiento de los materiales utilizados como cubierta en invernadero viene determinado por la degradación de sus propiedades físicas, radiométricas y mecánicas.

#### *4.2.2.1.2. Propiedades ópticas*

- **Transmitancia.** Es la propiedad de los materiales de dejar pasar la radiación solar, se expresaría como la relación entre la radiación en el interior del invernadero y la medida simultáneamente en el exterior. La transmisión depende del ángulo de incidencia de la cubierta.

#### *4.2.2.2. Tipos*

- **Tipo1:** plásticos delgados que generalmente miden entre .002"- .008" mils — normalmente instalados usando dos capas infladas con aire entre cada capa, a fin de suministrarle insolación adicional. Tipos específicos de cubiertas: Acetato de vinilo de etileno (EVA), policarbonato (PC), poliéster, polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC), y fluoruro de polivinilo.
- **Tipo 2:** Paneles rígidos de plásticos, tales como una capa de policarbonato corrugado y plástico reforzado con fibra de vidrio (FPR); paredes múltiples de acrílico, acrílico de impacto modificado y policarbonato.
- **Tipo 3:** Materiales rígidos de cristal incluyendo aquellos recocidos, templados y laminados.

#### *4.2.2.3. Materiales más usados*

- El acrílico es el termoplástico claro más resistente a la intemperie, generalmente polimerizado de monómeros de metacrilato de metilo. Entre todos los paneles de paredes múltiples, es el que permite la mayor transmisión de luz — aproximadamente 90% — permitiendo mayor eficiencia de energía. El acrílico no se ve afectado por los rayos UV, es resistente a estallidos y tiene fuerza de impacto limitado.

- El plástico reforzado con fibra de vidrio (FPR) es una de las opciones menos adaptables a la intemperie. Es además el más inflamable de todos los materiales rígidos.
- El acrílico de impacto modificado es el termoplástico con resistencia a condiciones intemperies más nuevo en el mercado. Sus paneles de paredes múltiples transmiten aproximadamente 85% de luz. La configuración multiparedes permite mayor eficiencia de energía. No es afectado por los rayos UV, tiene 10 veces más la fuerza de impacto que el acrílico tiene y es ideal para lugares donde el granizo es un problema.
- El vidrio está hecho de varios ingredientes básicos, incluyendo el sodio, hierro, plomo, sílice, etc. Típicamente es recocido o templado (el templarlo incrementa su fuerza). El grosor más común (3 mm) utilizado ofrece una transmisión de luz del 88% en un solo panel, 77% en paneles dobles
- El policarbonato es un poliéster termoplástico de ácido carbónico. Cuando es nuevo, ofrece la más alta fuerza de impacto. De todas las cubiertas de plásticos, es el más resistente a fuegos. Está disponible en paneles individuales corrugados o paneles de paredes múltiples. Los paneles corrugados transmiten aproximadamente 90 % de la luz, mientras que los paneles de paredes múltiples transmiten aproximadamente el 80%.
- Los paneles corrugados son los menos eficientes en su manejo de energía, mientras que los paneles de paredes múltiples cuentan con mayor eficiencia. El policarbonato ofrece un buen desempeño a largo plazo, al igual que la mayoría de los productos fabricados con protección UV.
- Las películas de polietileno son un plástico altamente flexible que típicamente son fabricados con absorbentes a fin de mejorar sus características intemperie — permitiendo su uso año entero. Usualmente se ofrecen dos distintos tipos: un material duro y más fuerte llamado alta densidad, y otro más flexible, de más baja densidad y fusión. De todas las cubiertas, ésta suele ser la de más bajo costo.

### *4.2.3. Control del clima en invernaderos*

#### *4.2.3.1. Luz*

- Aumentar la luz:
  - Orientar el invernadero. Cuando no hay otra limitación, la orientación recomendable es el eje longitudinal del invernadero de este a oeste.
  - Evitar sombras

- Evitar acumulación de polvo y agua en las cubiertas y las paredes
  - Usar iluminación artificial con lámparas de sodio de alta presión
- Reducir la luz
  - Mediante el uso de mallas de sombreo

#### 4.2.3.2. *Temperatura*

- Subir la temperatura:
  - Invernadero bien cerrado, estanco.
  - Cubierta de plástico térmico.
  - Empleo de doble techo limita el enfriamiento nocturno. Forma una cámara de aire que amortigua el enfriamiento durante la noche; durante el día no hay diferencia en temperatura teniendo o no el doble techo, pero sí disminuye la cantidad de luz.
  - Calefacción por aire caliente o agua caliente
- Reducir la temperatura:
  - Ventilación lateral o cenital.
  - Encalado (cal o blanco España), 10 kilos en 100 litros de agua a la cubierta. Pintura blanca que cuando llega el otoño se puede lavar y eliminar. Para evitar un aumento de la temperatura, puedes encalar los cristales entre primavera y otoño y aumentar el nivel de humedad regando o mojando el suelo.
  - Mallas blancas o negras. No se colocan dentro del invernadero porque se calienta mucho, sino fuera.
  - Pantallas térmicas con aluminio que reflejan la radiación.
  - Sistemas de refrigeración: nebulización y pantalla evaporadora.

#### 4.2.4. *Iluminación*<sup>10</sup>

El invernadero habrá de ir debidamente iluminado de modo que el operario pueda trabajar en él en condiciones de poca luminosidad, sin embargo, en este apartado vamos a tratar sobre como la luz afecta al crecimiento de las plantas.

---

<sup>10</sup> Extraído del artículo: ¿Cuál es la mejor luz artificial para las plantas?  
<https://www.hidroponiacasera.net/luz-artificial-para-plantas/>

Consideramos tres principios que afectan al crecimiento de las plantas:

- Calidad
- Duración
- Cantidad

#### 4.2.4.1. Calidad



*Ilustración 19: Espectro de luz*

Con calidad nos referimos al color o a la suma de colores que compone la luz que llega a las plantas. El color de la luz depende de la longitud de onda. La luz visible está compuesta por radiaciones de entre 380nm (azul) a 740 nm (rojo), más allá del rojo tenemos el infrarrojo y al otro lado el ultravioleta.

En este espectro tenemos diferentes colores de interés para las plantas, el azul, el verde (color que no absorben las plantas) y el rojo.

- Azul (400-500 nm)

Es el responsable del crecimiento vegetativo, que es el que ocurre tras germinar hasta la floración. Si aplicamos a una planta únicamente luz azul, esta crecerá dando una estatura baja y tendrá un color más oscuro.

- Rojo (600-700 nm)

Este color influencia la elongación del tallo, cuanto más rojo más alargara el tallo.

- Verde

Este color no afecta a la planta, puesto que es el que se refleja y vemos. Sin embargo, nos será muy útil para iluminar la instalación en casos de poca luminosidad ya que no afecta a su ciclo de desarrollo.

Por tanto, la mejor combinación será el azul y rojo.

#### 4.2.4.2. Duración

Con duración nos referimos al número de horas de luz continuas que recibe una planta en un periodo de 24 horas.

Podemos distinguir entonces varios tipos de plantas en función de la duración de horas a las que debe ser expuestas:

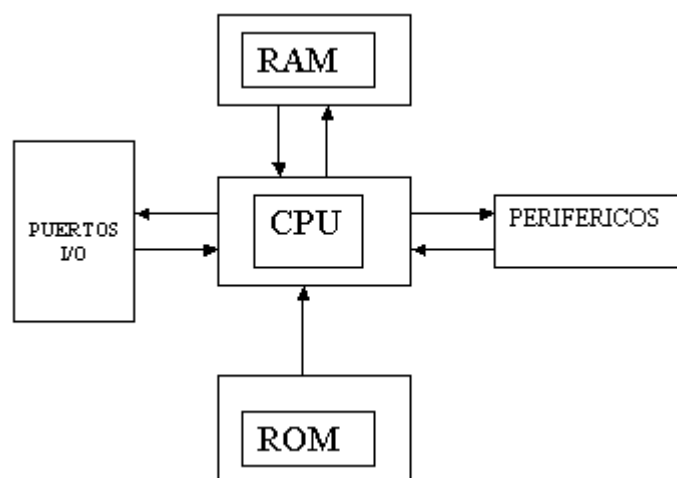
- Plantas de día corto: Son las que florecen en otoño y primavera, como los crisantemos o las flores de navidad. Las exponemos a más de 12 horas de luz y nos quedaremos sin plantas.
- Plantas de día largo: Son las que florecen en los días que tienen más cantidad de horas de luz, son, por tanto, plantas de verano, como la lechuga, las espinacas y las patatas.
- Plantas de día neutral: Su floración no depende del fotoperiodo, algunas plantas son los tomates, los pepinos y algunas fresas, entre otros.

#### 4.2.4.3. Cantidad

Con la cantidad nos referimos al número de fotones (o partículas de luz) capaces de hacer fotosíntesis que recibe una superficie. Podemos referirnos a la cantidad en un determinado instante (intensidad de luz) o a toda la luz que recibe durante un día (DLI, del inglés Daily Light Integral).

### 4.3. MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos. Estas partes están interconectadas dentro del microcontrolador, y en conjunto forman lo que se le conoce como microcomputadora. Se puede decir con toda propiedad que un microcontrolador es una microcomputadora completa encapsulada en un circuito integrado.



*Ilustración 20: Esquema de un microcontrolador*

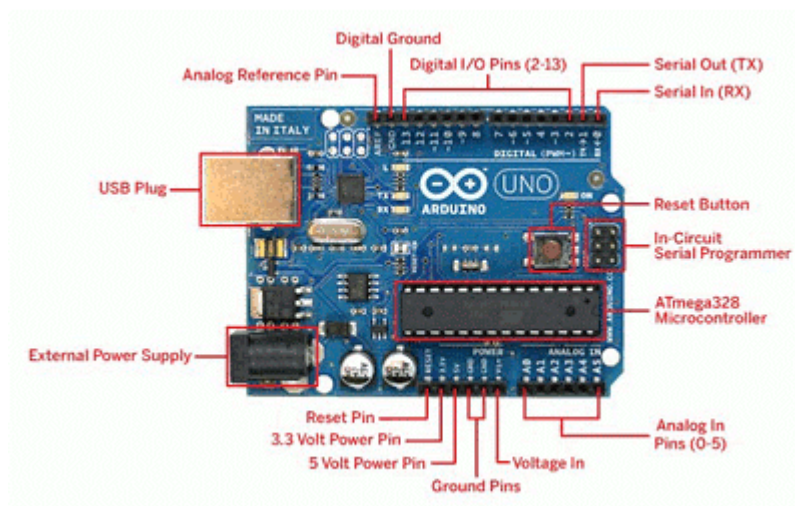
Toda microcomputadora requiere de un programa para que realice una función específica. Este se almacena normalmente en la memoria ROM. No está de más mencionar que sin un programa, los microcontroladores carecen de utilidad.

El propósito fundamental de los microcontroladores es el de leer y ejecutar los programas que el usuario le escribe, es por esto que la programación es una actividad básica e indispensable cuando se diseñan circuitos y sistemas que los incluyan. El carácter programable de los microcontroladores simplifica el diseño de circuitos electrónicos. Permiten modularidad y flexibilidad, ya que un mismo circuito se puede utilizar para que realice diferentes funciones con solo cambiar el programa del microcontrolador.

Las aplicaciones de los microcontroladores son vastas, se puede decir que solo están limitadas por la imaginación del usuario. Es común encontrar microcontroladores en campos como la robótica y el automatismo, en la industria del entretenimiento, en las telecomunicaciones, en la instrumentación, en el hogar, en la industria automotriz, etc.

### **4.3.1. *Arduino***

El microcontrolador Arduino es un tipo de controlador de código abierto y software de programación libre, muy versátil y asequible, que además cuenta con multitud de formatos, basado en el chip Atmega (versiones Atmega168 y Atmega328, este último con el doble de memoria), su voltaje de trabajo se comprende en un rango de 7 a 12 voltios DC, al disponer de un regulador de voltaje interno, aunque también se puede alimentar con una fuente de voltaje de 5 voltios DC estabilizada. Se puede programar mediante USB, de manera rápida y sencilla, simplemente conectándolo a un PC que contenga el software mediante cable USB, escribir el código de nuestro programa y subirlo a nuestro Arduino.



*Ilustración 21: Arduino*

Los pines TX y RX se usan para comunicación serial TTL.

Los pines RESET (ambos lados) sirven para reiniciar el Arduino (no se borra la memoria FLASH que contiene el programa grabado, con este procedimiento).

Los pines ENTRADA VOLTAJE 7-12VCC Y 5VCC se usan para alimentar el microcontrolador, recordad no exceder los límites de 7-12 voltios y que si la alimentación es mediante el pin 5VCC debe estar estabilizada, de lo contrario podemos quemar el chip.

Los pines MASA deben ir conectados al negativo/masa del circuito, así como de la alimentación, obviamente.

El SOCKET PARA PROGRAMADOR ICSP sirve para programar el chip ATMEGA mediante un programador especial, como el USBTinyISP, también para introducirle el Bootloader, que es el código interno del micro necesario para que se ejecute nuestro programa.

La CONEXION MINI USB servirá para conectar el micro al ordenador y poder programarlo mediante el programa correspondiente.

Las ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES nos servirán para multitud de funciones como salida, tales como, encender leds, relés, motores, o bien como entradas, recibir señal de sensores PIR, infrarrojos, etc... Estas entradas y salidas solo tienen nivel lógico (alto-bajo, 1-0...) y no admiten otra interpretación. Nota: la potencia máxima soportada por estos pines es de 40mA.

Las ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS nos servirán para lo mismo que las digitales, a diferencia de que estas sí que admiten variación en el rango de datos, es

decir, de 0 a 5 voltios se interpretará de manera digital de 0 a 1024. Esto es útil en el caso de lecturas de voltajes, temperaturas, oscuridad, etc...

#### *4.3.1.1. Protocolos de comunicaciones de Arduino*

### 4.4. HERRAMIENTA PARA EL SISTEMA DE CONTROL

#### *4.4.1. LabView*

La decisión de la elección del interfaz hombre-máquina que me permitiese administrar y acceder a los distintos valores de los sensores, los actuadores y los receptores eléctricos del invernadero no fue nada fácil. Era una decisión estratégica que me obligaría a enfrentarme a los siguientes problemas de una manera o de otra totalmente distinta:

- Capturar datos remotamente vía serial.
- Trabajar con comunicaciones radio.
- Interpretar los datos recibidos.
- Interactuar con ellos.
- Presentarlos gráficamente

Podía optar por:

- El empleo de uno de los lenguajes "estándar" de alto nivel como son C/C++, Java, Visual Basic, Pascal, asistidos por un entorno RAD (desarrollo rápido de aplicaciones) como pueden ser Embarcadero (C/C++), RAD Studio (Pascal, Eclipse/NetBeans (Java), Visual Studio (Visual Basic) ....
  - Ventajas:
    - Buena documentación español/inglés
    - Fundamentos de C/C++ estudiados en la Carrera.
  - Inconveniente:
    - A pesar de estar apoyado por entornos RAD hay que seguir escribiendo mucho código.
- O podía optar por otro producto que estuviese orientado a los entornos de producción industrial como pueden ser LabView, Agilent-VEE, HP-VEE...
  - Ventajas:
    - Nada o poco código a escribir.



- Fundamentos básicos de LabView estudiados en la Carrera
- Inconvenientes:
  - En general nada documentado en español, excepto LabView.
  - Poco documentado en inglés, excepto LabView.

La decisión final se decantó por elegir LabView (En adelante LB), el cual se programa empleando símbolos gráficos, los cuales se relacionan entre sí de una manera potente y flexible.

LB está desarrollado por la empresa *National Instruments* y a pesar de que lo publicitan como un lenguaje de aprendizaje rápido, no es así. No es un buen lenguaje para ser el primero que se pudiera aprender, yo recomendaría aprenderlo después de conocer uno de los clásicos: C/C++, Java....

Está orientado a:

- La adquisición de datos, ya sean analógicos, digitales y al tratamiento de ellos (lo que yo buscaba).
- Presentación de los resultados.

Trabaja con multitud de protocolos de comunicación:

- RS232
- RS485
- GPIB
- PXI
- VXI

Los productos finales se llaman VI (Instrumentos Virtuales) y tienen un aspecto semejante a los físicos pero las mismas o más funcionalidades.

El entorno de desarrollo se caracteriza por tener dos interfaces:

- *Diagrama de Bloques:* en donde se realiza la “escritura” del código. Allí incrustaremos los símbolos gráficos que equivaldrían a líneas de código en otros lenguajes.
- *Panel Frontal:* en donde se muestra el VI, es decir, el instrumento virtual que estoy programando.

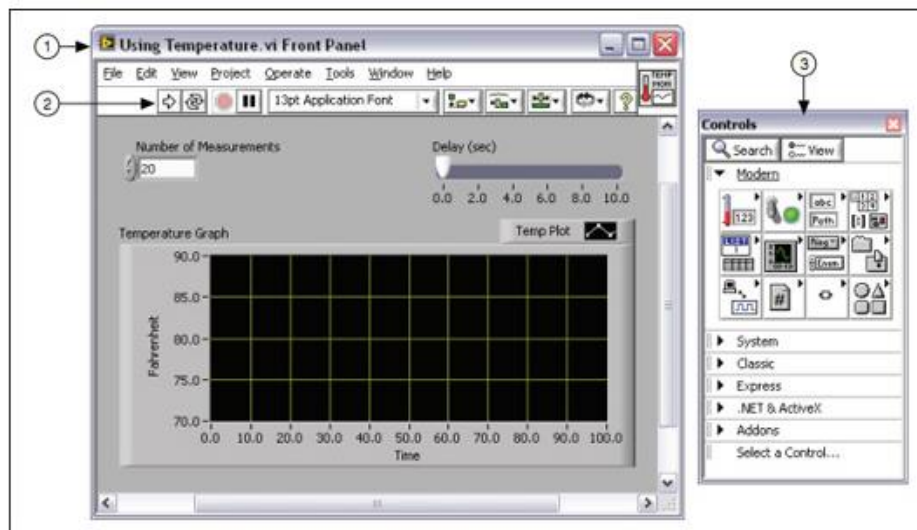
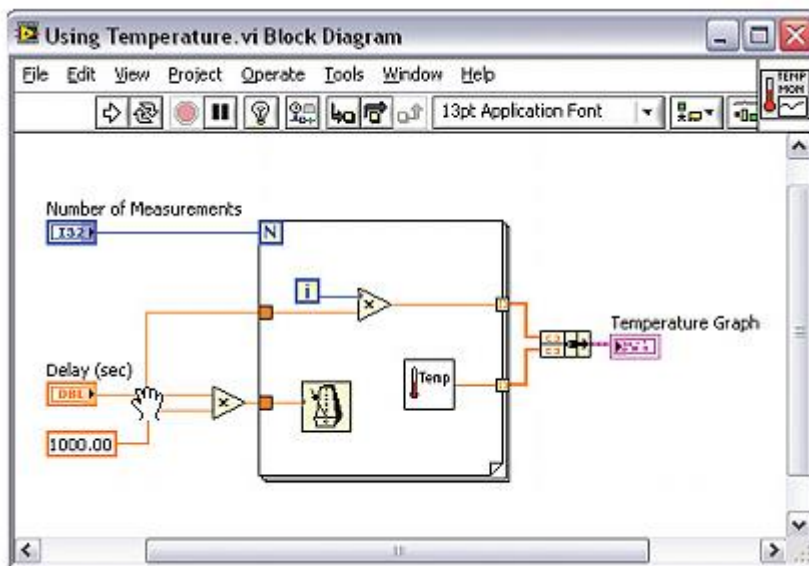


Ilustración 22: Programación en LabView

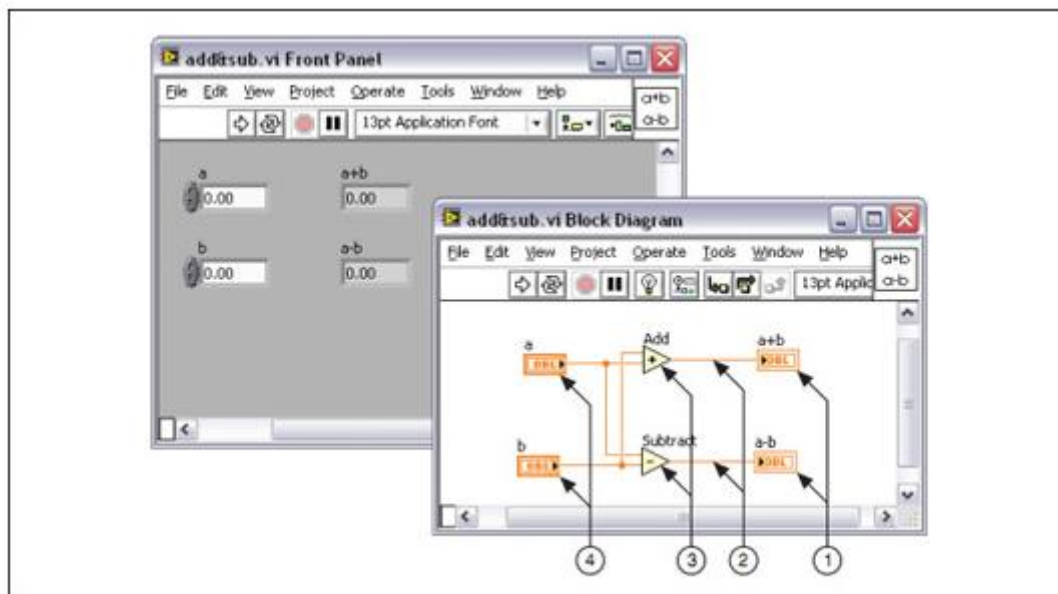


Ilustración 23: Programación en LabView 2

Puesto que está orientado a la captura, tratamiento y presentación de datos, sus objetos están muy claramente definidos. Básicamente los hay de dos tipos:

- Controles (triángulo lateral blanco en el lado derecho)
- Indicadores (triángulo lateral blanco en el lado izquierdo)

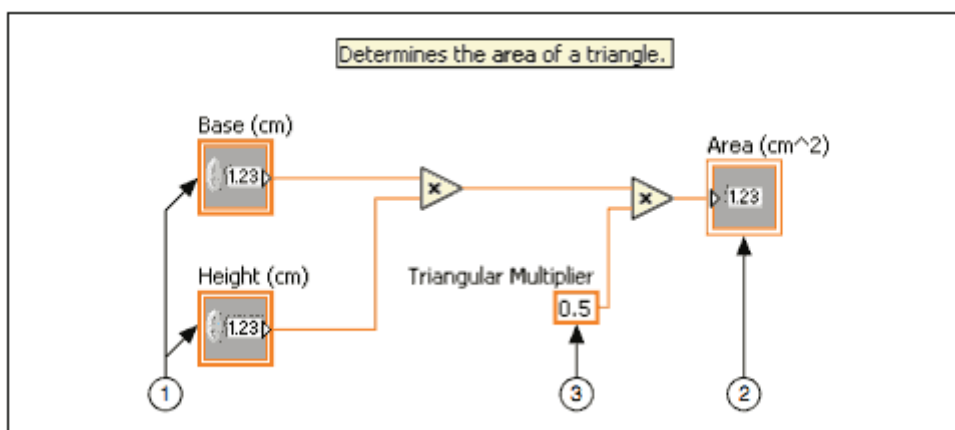
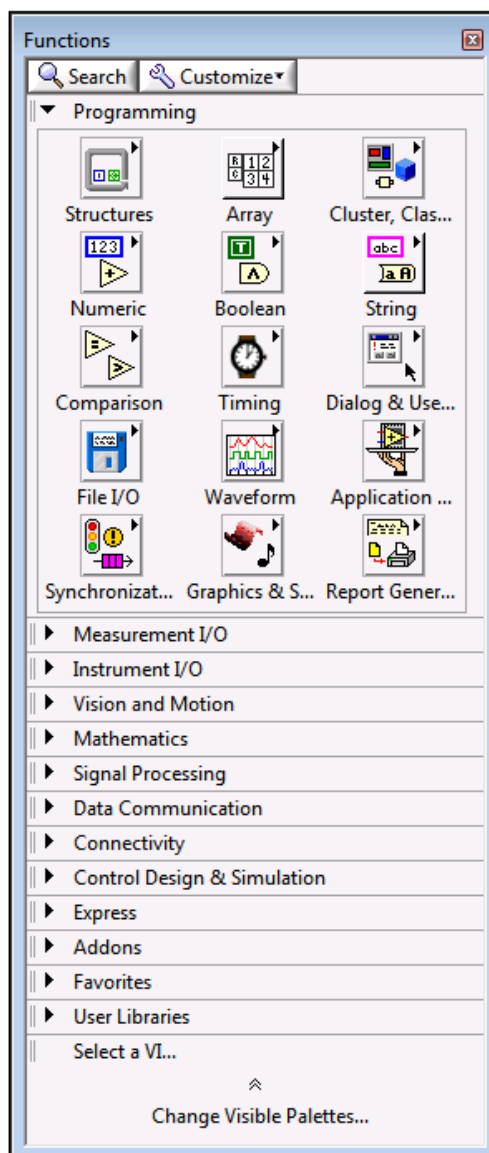


Ilustración 24: Objetos en LabView

Los objetos con los que trabajan tanto el *Diagrama de Bloques* como el *Panel Frontal* se extraen de unas paletas, llamadas *Paletas de Funciones*.



*Ilustración 25: Paleta de objetos en LabView*

Y como peculiaridad especial seguramente nos habrá llamado la atención que los objetos del *Diagrama de Bloques* junto con las líneas que los unen (llamadas cables) son de colores. Esto es debido a que dependiendo del tipo de variable con la que traten así será su color.

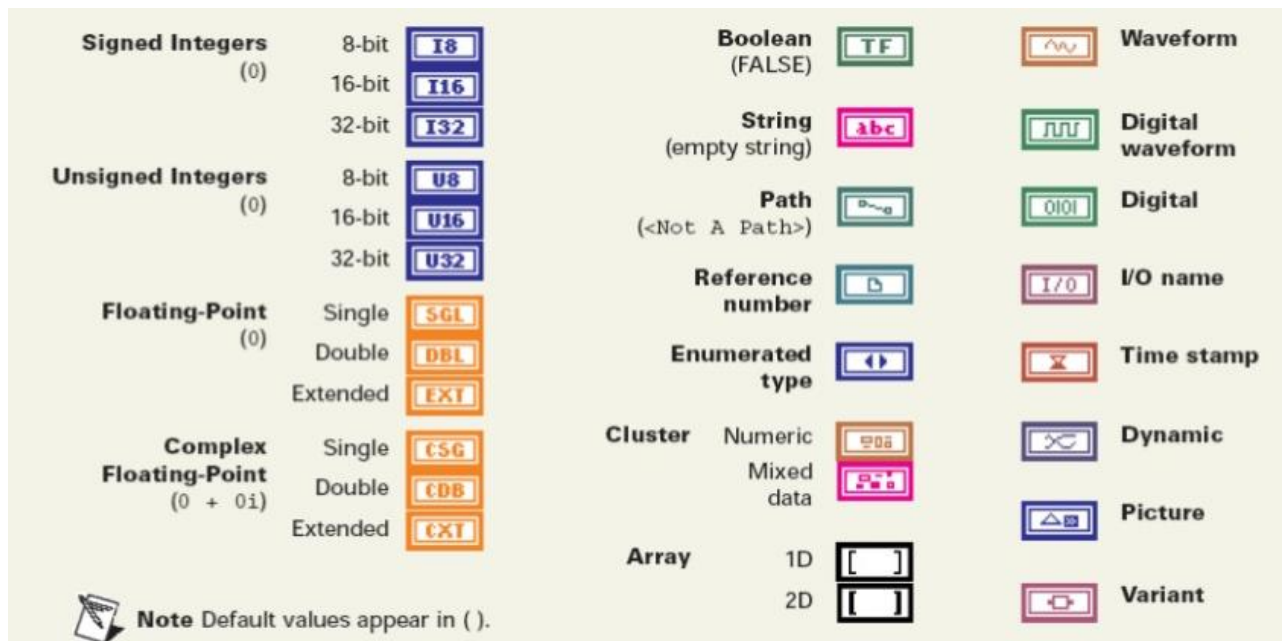


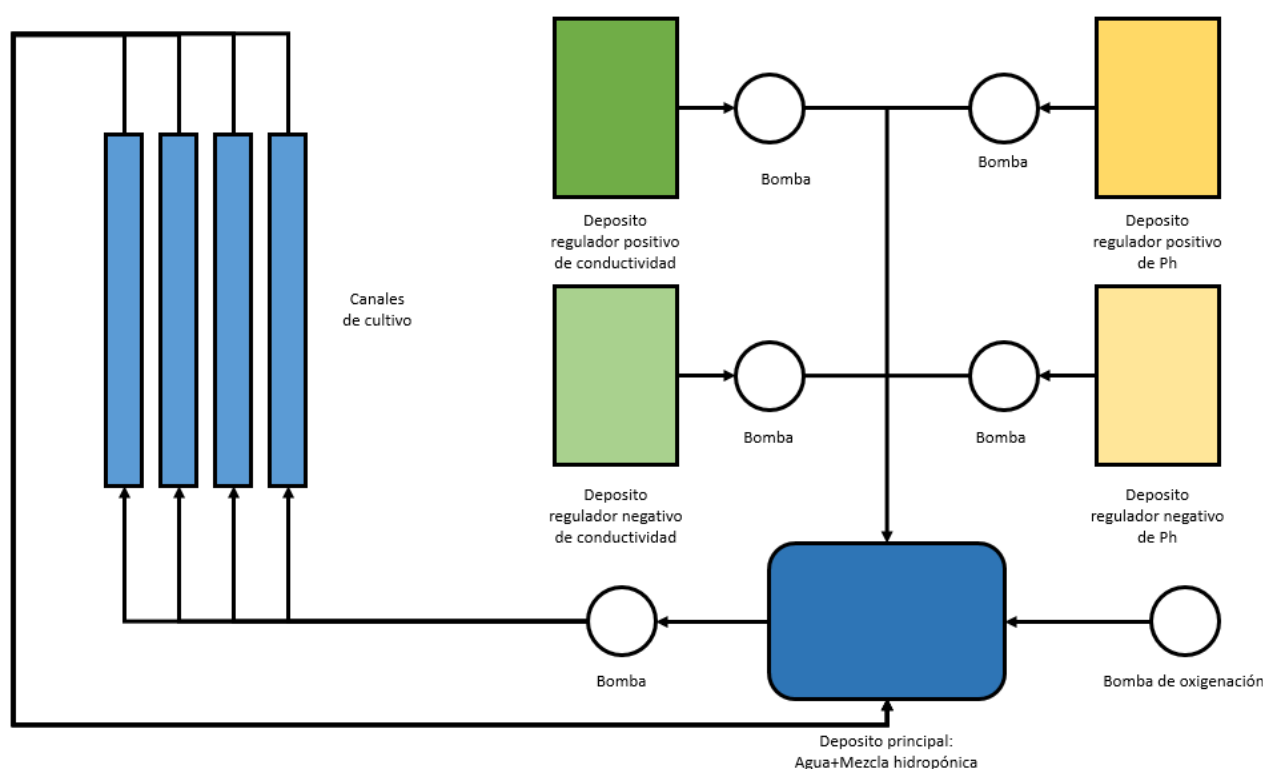
Ilustración 26: Variables en LabView

## 5. DISEÑO

### 5.1. HIDROPONÍA

El sistema elegido es el NFT (Nutrient Film Technique), está basado en la circulación continua de una fina lamina de solución nutritiva a través de las raíces, sin que estas se encuentren en ningún tipo de sustrato, simplemente están sostenidas por un canal de cultivo, por cuyo interior fluye la solución en la que no existe pérdida o salida al exterior, por lo que se considera un sistema de tipo cerrado.

El principio del sistema consiste en hacer circular continuamente una solución nutritiva mediante una bomba desde un tanque por una serie de canales de PVC. En cada canal hay agujeros donde se colocan las plantas, y estos, a su vez, están apoyados sobre mesas o caballetes con una ligera pendiente que facilita la circulación de la solución. Luego, la solución es recolectada y almacenada de nuevo en el tanque. A su vez, tendremos depósitos más pequeños donde estarán los líquidos que regulan el pH y la conductividad de la solución, y estos líquidos serán suministrados a la solución nutritiva mediante bombas. También se incorporará al depósito un oxigenador, con el fin de mezclar la solución y de aumentar la cantidad de oxígeno en ella.



*Ilustración 27: Esquema general hidropónico del invernadero*

### 5.1.1. Cultivo

La planta en la que nos vamos a centrar en este proyecto y cultivar en nuestro invernadero será la lechuga, la cual presenta los siguientes parámetros:

Parte comestible	Hortaliza	Humedad	pH	Temperatura optima/ Temperaturas limite	Conductividad	Época de siembra	Distancia mínima entre plantas	Ciclo vegetal
<b>Hortaliza de hojas</b>	Lechuga	70-80%	6.7-7.4	16-22°C/6-30°C	1-2.3mS/cm <sup>2</sup>	Todo el año	30 cm	90-100 días

Tabla 2: Parámetros de cultivo

### 5.1.2. Solución nutritiva

Para la solución nutritiva vamos a usar un fertilizante comercial para cultivos hidropónicos, el Aqua vega A+B de Canna.



Ilustración 28: Solución nutritiva

Las cuales hay que agitar antes de usar y, con el depósito lleno de agua, verter primero el líquido A y remover la mezcla y, a continuación, verter el líquido B y volver a mezclar la solución. La proporción ha de ser de 1:500 (2 ml por cada litro de agua).

Esta solución no altera el pH, sin embargo, la conductividad eléctrica estará entre 1,1 y 1,9 mS, por lo que habrá que tenerlo en cuenta a la hora de regularla.

### 5.1.3. Líquidos reguladores

#### 5.1.3.1. Regulador de pH

Para poder regular el pH dentro de la mezcla, haremos uso de dos líquidos, uno que lo aumente y otro que lo disminuya, de este modo, y junto a una medida continuada de la mezcla podremos mantener el nivel de pH más adecuado para nuestro cultivo.

Ambos líquidos irán en depósitos individuales y serán vertidos mediante una bomba al depósito principal.

Los líquidos elegidos serán de la marca Atlas Scientific de pH 4 y 10.



*Ilustración 29: Líquidos reguladores de pH*

#### 5.1.3.2. Regulador de conductividad

Al igual que para el caso anterior, nos valdremos de dos líquidos para aumentar y disminuir la conductividad de la mezcla.

De la misma manera, ambos irán en depósitos individuales y regulados por una bomba.

Los líquidos elegidos serán de la marca Atlas scientific.



*Ilustración 30: Líquidos reguladores de conductividad*

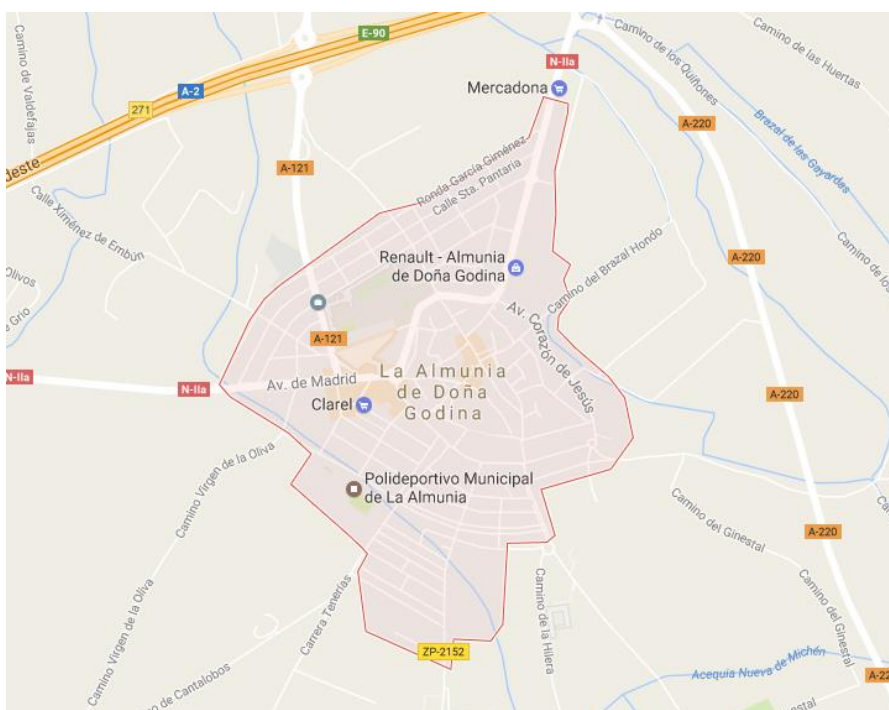


## 5.2. ESTRUCTURA PORTANTE

En este apartado se va a comentar los diferentes parámetros que afectan a la estructura del invernadero que vamos a diseñar.

### 5.2.1. Zona geográfica

La zona donde estará ubicada nuestra estructura será en La Almunia de Doña Godina en la provincia de Zaragoza.



*Ilustración 31: Ubicación del invernadero*

Esta región presenta un clima de estepa local, con una temperatura media de 13.8 °C y unas precipitaciones medias de 362 mm.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	5.1	6.4	10	12.3	16.2	19.9	22.9	22.7	20	14.3	9	6.5
Temperatura mín. (°C)	1.2	1.8	4.7	6.9	10.7	13.9	16.5	16.5	14.2	9.1	4.5	2.6
Temperatura máx. (°C)	9.1	11.1	15.4	17.8	21.7	26	29.3	28.9	25.8	19.5	13.6	10.4
Temperatura media (°F)	41.2	43.5	50.0	54.1	61.2	67.8	73.2	72.9	68.0	57.7	48.2	43.7
Temperatura mín. (°F)	34.2	35.2	40.5	44.4	51.3	57.0	61.7	61.7	57.6	48.4	40.1	36.7
Temperatura máx. (°F)	48.4	52.0	59.7	64.0	71.1	78.8	84.7	84.0	78.4	67.1	56.5	50.7
Precipitación (mm)	22	21	30	28	53	43	17	20	33	36	26	33

*Tabla 3: Parámetros ambientales de la ubicación*

### 5.2.2. Elección del tipo de invernadero

El tipo de invernadero elegido es el invernadero de capilla a dos aguas, debido a que como ya dijimos anteriormente presenta las siguientes características:

- Es de fácil construcción y de fácil conservación.
- Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta.
- La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla. También resulta fácil la instalación de ventanas cenitales.
- Tiene grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia.

### 5.2.3. Descripción de la estructura

La estructura con la que se construirá el invernadero hace uso de dos materiales: acero y hormigón para los cimientos, también se usará policarbonato para la cubierta exterior. La estructura está basada en un sistema de pórticos, constituyendo 6 iguales colocados de manera paralela y unidos mediante correas. El pórtico, como ya se ha mencionado anteriormente será a dos aguas simétricas.

Cada pórtico constará de dos pilares con perfil IPE160 para las columnas e IPE140 para la cubierta, a su vez las correas que unen los laterales serán IPE180 y las de la cubierta IPE160. Los datos anteriores han sido calculados con el programa CYPE, del cual se hablará más adelante.

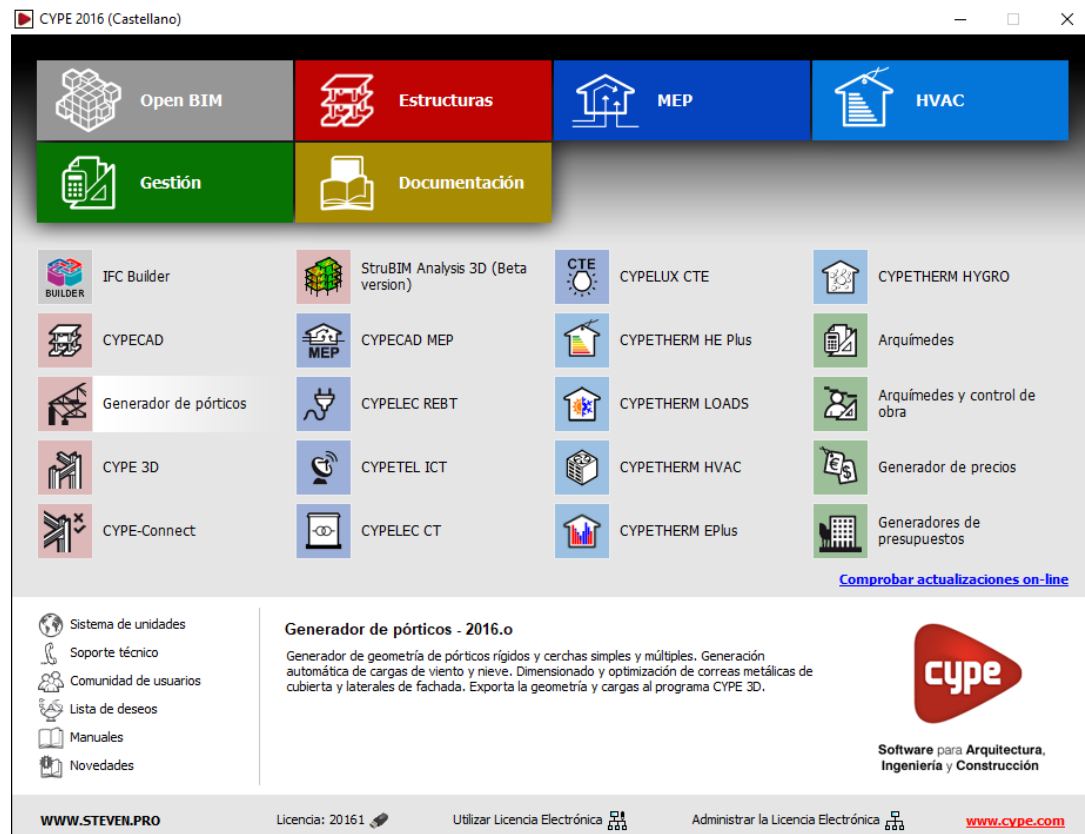
La unión de las diferentes vigas se realizará por soldadura.

Por lo tanto, las medidas de la nave serán las siguientes:

- Longitud: 25 metros

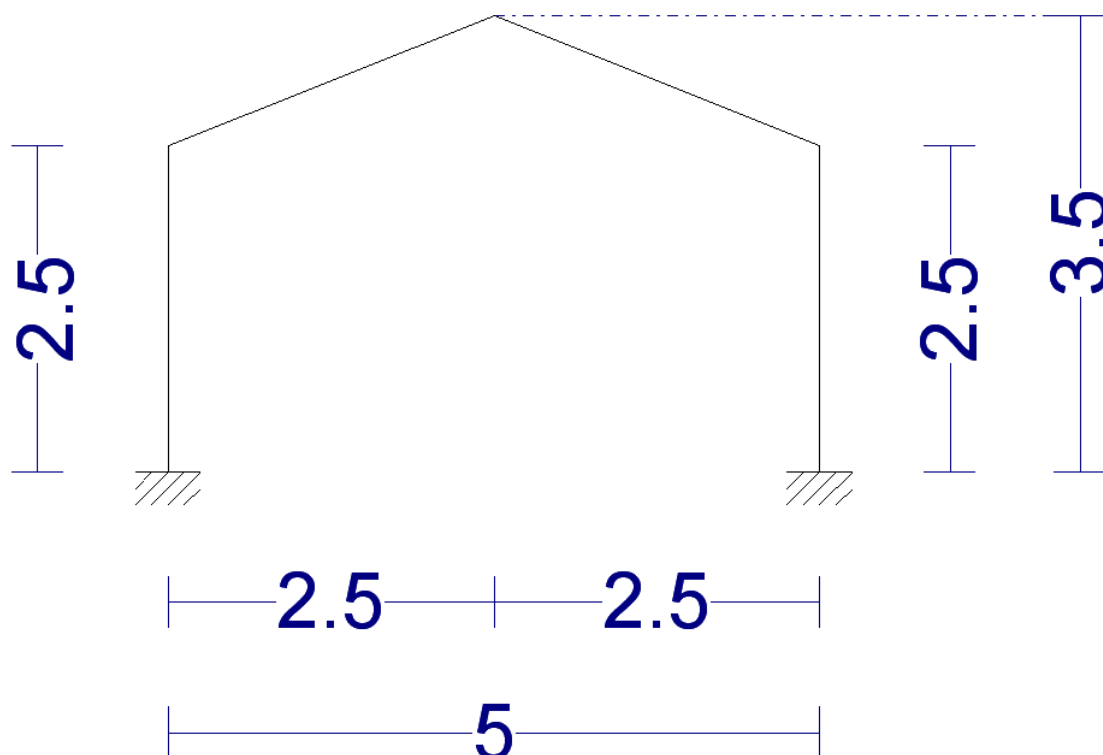
- Ancho: 5 metros
- Altura máxima: 3.5 metros
- Altura de los pilares laterales: 2.5 metros

Para llevar a cabo el diseño de la estructura nos hemos valido de la suite CYPE 2016, en su sección de generador de pórticos. Cype es un programa muy completo que nos permite crear estructuras de una manera muy sencilla.



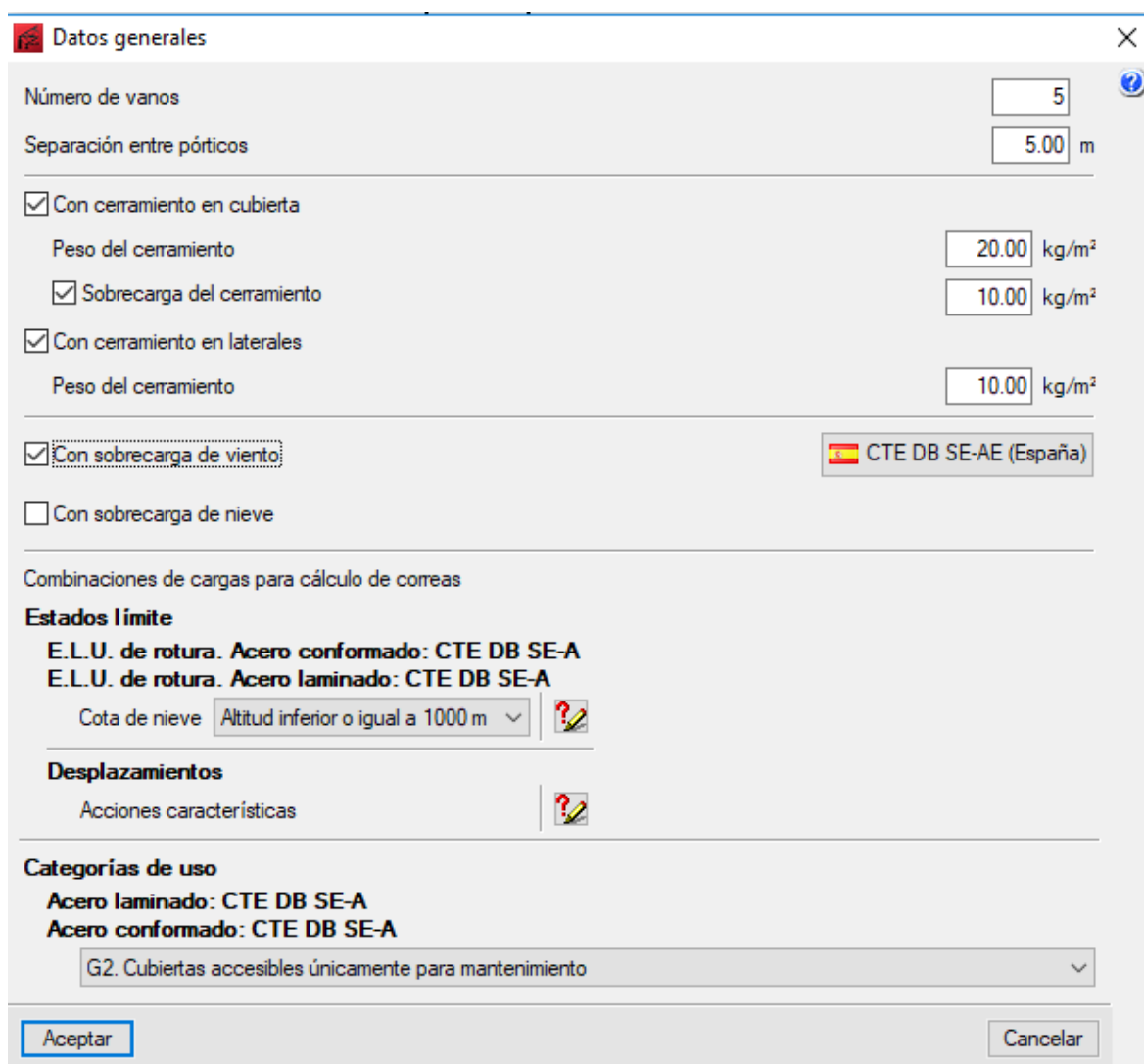
*Ilustración 32: Menú de CYPE*

Una vez ejecutado el programa, diseñamos el pórtico, el cual será a dos aguas y con las siguientes medidas:



*Ilustración 33: Pórtico del invernadero*

A continuación, elegimos el número de vanos, la distancia entre ellos, así como el peso en los cerramientos y su sobrecarga en los mismos y al viento:



**Datos generales**

Número de vanos: 5

Separación entre pórticos: 5.00 m

☒ Con cerramiento en cubierta

Peso del cerramiento: 20.00 kg/m²

☒ Sobrecarga del cerramiento: 10.00 kg/m²

☒ Con cerramiento en laterales

Peso del cerramiento: 10.00 kg/m²

☒ Con sobrecarga de viento: CTE DB SE-AE (España)

☐ Con sobrecarga de nieve

Combinaciones de cargas para cálculo de correas

**Estados límite**

E.L.U. de rotura. Acero conformado: CTE DB SE-A

E.L.U. de rotura. Acero laminado: CTE DB SE-A

Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m

**Desplazamientos**

Acciones características

**Categorías de uso**

Acero laminado: CTE DB SE-A

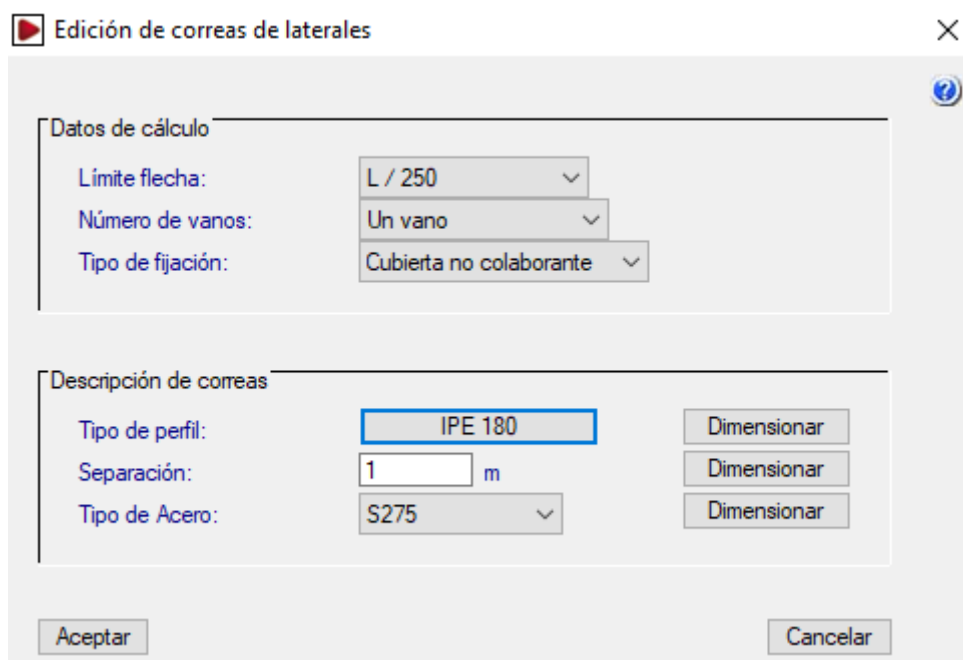
Acero conformado: CTE DB SE-A

G2. Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento

Aceptar Cancelar

Ilustración 34: Cerramientos y sobrecarga

A continuación, elegimos las correas que irán en los laterales:



**Edición de correas de laterales**

**Datos de cálculo**

Límite flecha: L / 250

Número de vanos: Un vano

Tipo de fijación: Cubierta no colaborante

**Descripción de correas**

Tipo de perfil: IPE 180 Dimensionar

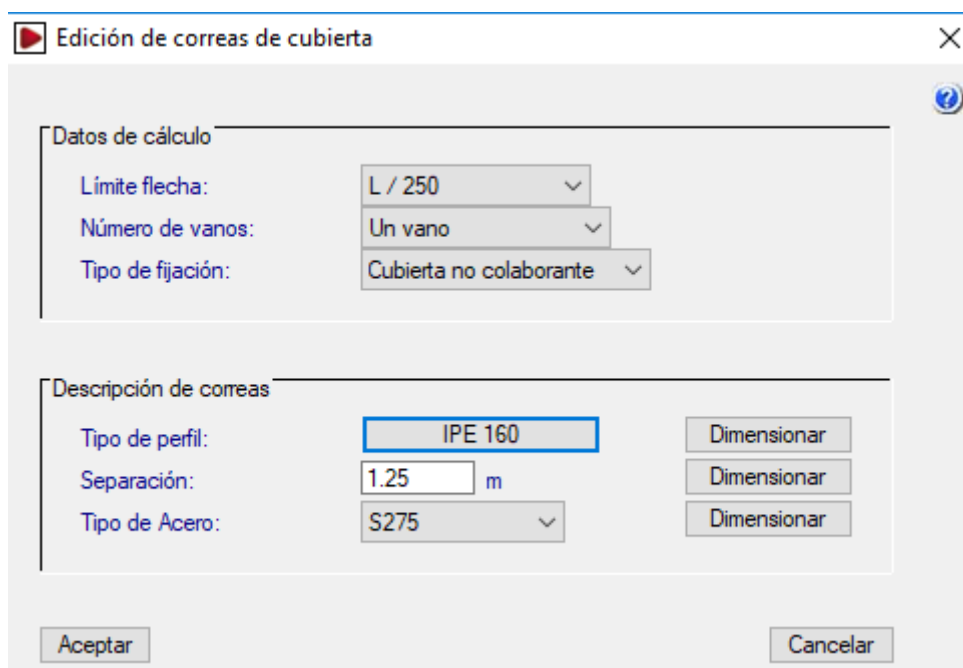
Separación: 1 m Dimensionar

Tipo de Acero: S275 Dimensionar

Aceptar Cancelar

*Ilustración 35: Correas laterales*

Y, por último, las correas que irán en la cubierta:



**Edición de correas de cubierta**

**Datos de cálculo**

Límite flecha: L / 250

Número de vanos: Un vano

Tipo de fijación: Cubierta no colaborante

**Descripción de correas**

Tipo de perfil: IPE 160 Dimensionar

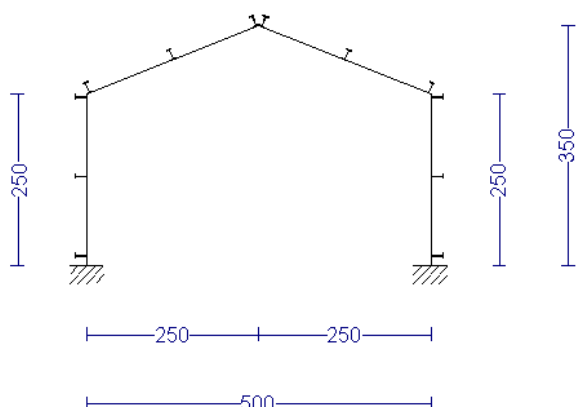
Separación: 1.25 m Dimensionar

Tipo de Acero: S275 Dimensionar

Aceptar Cancelar

*Ilustración 36: Correos en la cubierta*

Una vez hecho todo esto, obtenemos nuestro diseño final del pórtico:



Obra: PORTICO  
Escala: 1/50  
Separación entre pórticos (m): 5.00  
Correas en cubiertas  
Tipo de Acero: S275  
Tipo de perfil: IPE 160  
Separación: 1.25 m.  
Número de correas: 6  
Peso lineal: 94.67 kg/m  
Correas en laterales  
Tipo de Acero: S275  
Tipo de perfil: IPE 180  
Separación: 1.00 m.  
Número de correas: 6  
Peso lineal: 112.57 kg/m

Ilustración 37: Diseño final del pórtico

Después de haber diseñado el pórtico en 2D, es hora de exportarlo a CYPE 3D:

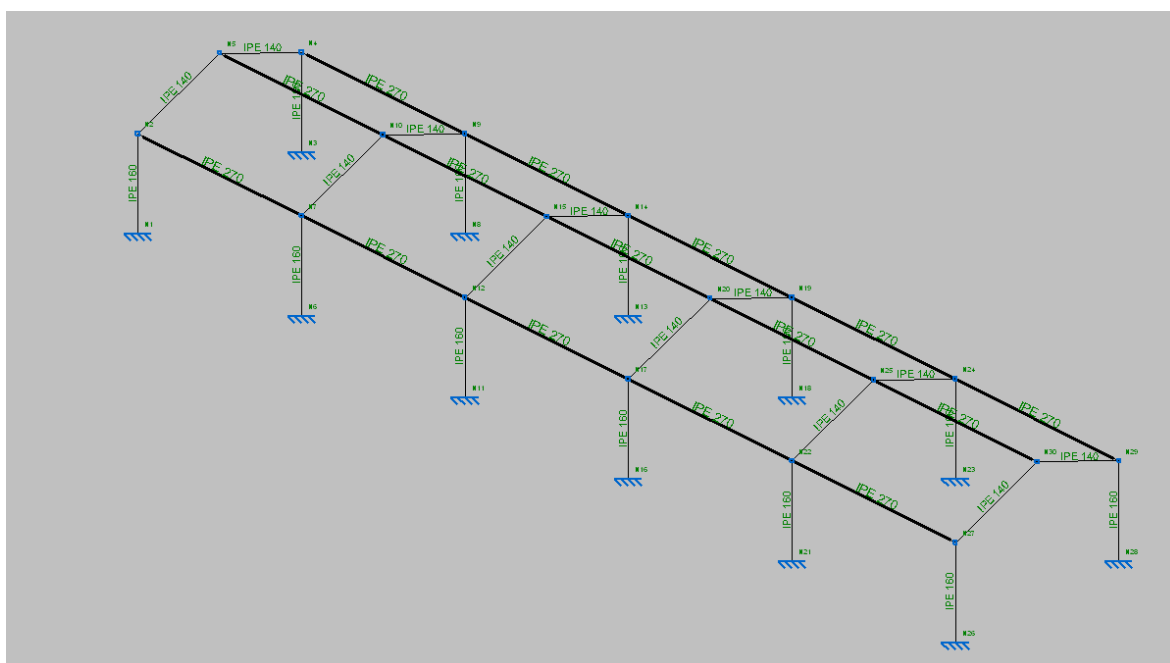


Ilustración 38: Estructura 3D del invernadero





### 5.2.5. *Método de calculo*

Todas las características, tanto los materiales, hipótesis y coeficientes han sido calculados automáticamente por nuestro programa de cálculo, CYPE, en función de las normas y decretos establecidos.

Todos los resultados se pueden observar en el anexo.

## 5.3. ELECTRÓNICA

A continuación, se describen todos los aparatos electrónicos de los que consta nuestro invernadero para su correcto funcionamiento, diferenciando los siguientes:

- Sensores: Elemento que toma las señales del mundo físico y las convierte en señales de corriente o voltaje.
- Actuadores: Convierten las señales de corriente o voltaje en señales físicamente útiles.

### 5.3.1. *Sensores*

#### 5.3.1.1. *Temperatura y humedad*

El DHT22 permite la medición simultanea de humedad y temperatura, dispone de un procesador interno que realiza el proceso de medición, proporcionando la medición mediante una señal digital, por lo que resulta muy sencillo obtener la medición.

Sus principales características generales son:

- Alimentación: 3.3v – 5.5v, tomando como valor recomendado 5v.
- Resolución decimal, es decir, los valores tanto para humedad como para temperatura serán números con una cifra decimal.
- Tiempo de muestreo: 2 segundos, es decir, sólo nos puede ofrecer datos cada 2 segundos.

En cuanto a sus prestaciones leyendo temperatura:

- Rango de valores desde -40°C hasta 80°C de temperatura.
- Precisión:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  como máximo en condiciones adversas.
- Tiempo de respuesta: <10 segundos, es decir, de media, tarda menos de 10 segundos en reflejar un cambio de temperatura real en el entorno.

Si hablamos de sus prestaciones leyendo humedad relativa:

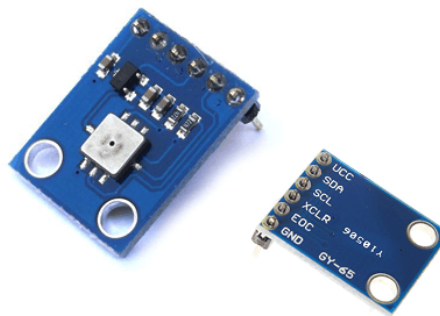
- Rango de valores desde 0% hasta 99.9% de Humedad Relativa.
- Precisión:  $\pm 2\%RH$ , a una temperatura de  $25^{\circ}C$ .
- Tiempo de respuesta:  $<5$  segundos, es decir, de media, tarda menos de 5 segundos en reflejar un cambio de humedad relativa real en el entorno. Además, para darse esta afirmación, los test indicaron que la velocidad del aire debe ser de 1 m/s.



*Ilustración 40: Sensor DHT22*

### 5.3.1.2. Presión

El sensor BMP180 nos permite medir la presión del aire, es un sensor de alta precisión y baja potencia. El rango de medición es de 300hPa a 1110 hPa, equivalente a una altitud de -500m a 9000m sobre el nivel del mar. La precisión es configurable, desde 0.06hPa (0.5 metros) en el modo de bajo consumo, a 0.02hPa (0.17 metros) en el modo de alta precisión. Este sensor es compatible con un voltaje entre 1,8 y 3.6VDC.



*Ilustración 41: Sensor BMP180*

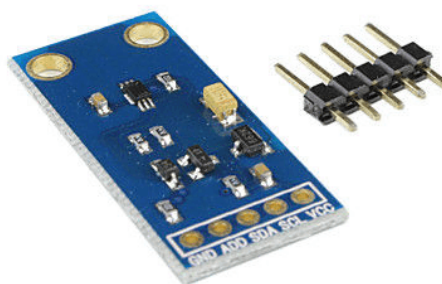
### 5.3.1.3. Luz

El BH1750 es un sensor digital del nivel de luz, la respuesta espectral del BH1750 está diseñada para ser similar a la del ojo humano por lo que son capaces de proporcionar la medición de lux.

El BH1750 tiene un amplio rango de medición ajustable desde los 0.11 a 100000 lux, por lo que es capaz de medir en casi cualquier situación de iluminación.

El sensor BH1750 tiene una baja influencia al espectro infrarrojo, rechazo al ruido de 50/60 Hz (luz artificial) y alta independencia del origen de la fuente de luz (luz natural, halógenos, LED, incandescencia).

A su vez, este sensor es alimentado con un voltaje entre 1,6 y 5 V.



*Ilustración 42: Sensor BH1750*

#### **5.3.1.4. Medidor de pH**

El cual, ira dentro del depósito de solución nutritiva y nos dará una lectura continua del pH, será el siguiente:

Spear tip pH probe de atlas scientific:

- Rango de pH: 0-14
- Temperatura de funcionamiento: 0-80°C
- Presión máxima: 690 kPa (100 PSI)
- Profundidad máxima 60 M (197 pies)
- Longitud del cable: 1 metro
- Peso: 49 gramos
- Velocidad de respuesta: 95% en 1 segundo
- Punto isopotencial: pH 7.00 (0 mV)
- Dimensiones 12mm X 150mm (1/2 "X 6")
- Conector BNC



*Ilustración 43: Spear tip pH*

Sin embargo, el sensor anterior es solo una probeta que nos proporciona valores analógicos, por lo que hará falta el siguiente sensor, que convierte los datos analógicos a digitales y nos permite conectarlo con nuestro microcontrolador:

Ezo pH circuit de atlas scientific:

- Lectura de pH de rango completo de .001 - 14.000
- Lectura exacta del pH hasta la milésima (+/- 0,002)
- Lectura única o modos de lectura continua
- El formato de datos es ASCII
- Compatible con cualquier microprocesador que soporte UART o protocolo I2C
- Tensión de servicio: 3.3V a 5V



*Ilustración 44: Ezo pH circuit*

### 5.3.1.5. Medidor de conductividad

Al igual que para el pH, necesitaremos una probeta para medir la conductividad, la cual estará sumergida en el deposito todo el tiempo:

Conductivity probe de Atlas scientific:

- K 10 - 10  $\mu\text{S}$  / cm a 1S
- Temperatura máxima: 0-70 ° C
- PSI máximo: 1379 kPa (200 PSI)
- Longitud del cable: 1 metro
- Peso: 51 gramos
- Dimensiones 12mm X 150mm (1/2 "X 6")
- Conector BNC



*Ilustración 45: Conductivity probe*

Y las lecturas de nuestra probeta serán convertidas de analógicas a digital con el siguiente driver:

Ezo conductivity circuit de Atlas scientific:

- Conductividad
- Sólidos disueltos totales
- Unidades prácticas de salinidad
- Gravedad específica del agua de mar
- Precisión +/- 2%
- Rango total de 0,07  $\mu\text{S}$  / cm a 500,000+  $\mu\text{S}$  / cm
- El formato de datos es ASCII

- Tensión de servicio: 3.3V a 5V
- Funciona con cualquier sonda de conductividad de dos conductores
- Funciona con cualquier valor K de K 0.1 a K 10



*Ilustración 46: Ezo conductivity circuit*

#### 5.3.1.6. Reloj rtc

Para saber la hora en la que estamos y de este modo programar diferentes acciones en el invernadero en función del tiempo, necesitaremos un reloj para nuestro Arduino, en nuestro caso usaremos el Octopus RTC, el cual tiene las siguientes características:

- Cuenta los Segundos, Minutos, Horas, Día de la Semana, Día del Mes, Mes, Año, y con compensación de año bisiesto.
- RAM interna de 31x8
- Voltaje de Operación de 2 a 5.5 volts
- Requiere de menos de 300nA a 2Volts



*Ilustración 47: Octopus RTC*

### 5.3.1.7. Sensor volumétrico

Para medir el volumen de los diferentes depósitos colocaremos en lo alto de cada depósito un sensor de ultrasonidos, el cual nos medirá la distancia que hay desde el líquido hasta el sensor y previamente calibrado nos permitirá conocer la cantidad de líquido que hay en el depósito.

El sensor que usaremos será el siguiente:

HC-SR04:

El sensor se basa simplemente en medir el tiempo entre el envío y la recepción de un pulso sonoro. Sabemos que la velocidad del sonido es 343 m/s en condiciones de temperatura 20 °C, 50% de humedad, presión atmosférica a nivel del mar. Transformando unidades resulta:

$$343 \frac{m}{s} \cdot 100 \frac{cm}{m} \cdot \frac{1}{1000000} \frac{s}{\mu s} = \frac{1}{29.2} \frac{cm}{\mu s}$$

Es decir, el sonido tarda 29,2 microsegundos en recorrer un centímetro. Por tanto, podemos obtener la distancia a partir del tiempo entre la emisión y recepción del pulso mediante la siguiente ecuación.

$$Distancia(cm) = \frac{Tiempo(\mu s)}{29.2 \cdot 2}$$

El motivo de dividir por dos el tiempo (además de la velocidad del sonido en las unidades apropiadas, que hemos calculado antes) es porque hemos medido el tiempo que tarda el pulso en ir y volver, por lo que la distancia recorrida por el pulso es el doble de la que queremos medir.

Características técnicas:

- Dimensiones del circuito: 43 x 20 x 17 mm
- Tensión de alimentación: 5 Vcc
- Frecuencia de trabajo: 40 KHz
- Rango máximo: 4.5 m
- Rango mínimo: 1.7 cm
- Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 10 μS.
- Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100-25000 μS.
- Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra: 20 mS.

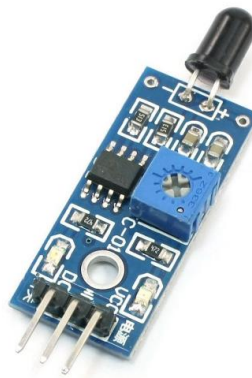


*Ilustración 48: Sensor HC-SR04*

#### 5.3.1.8. Sensor de llama

Para poder detectar un posible incendio en nuestra instalación hemos hecho uso del siguiente sensor, el Im393:

- Tensión de funcionamiento: 3,3 V DC-5V
- Longitud de onda de detección: 760-1100nm
- Peso neto: 3g



*Ilustración 49: Im393*

#### 5.3.1.9. Sensor de humo

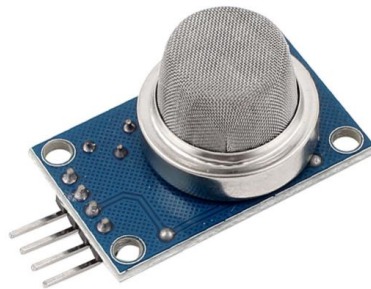
Como no siempre es necesario que haya fuego para que se produzca humo, necesitaremos un sensor para detectar gases y humos, de modo que un escape de cualquier sustancia no ponga en peligro nuestro cultivo.

Para ello nos hemos valido de MQ-2, el cual se utiliza en la detección de fugas de gas de equipos en los mercados de consumo y la industria, este sensor es adecuado para la detección de gas LP, i-butano, propano, metano, alcohol, hidrógeno, tiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido.



Este pequeño sensor de gas detecta la presencia de gas combustible y humo en concentraciones de 300 a 10.000 ppm. Incorpora una sencilla interfaz de tensión analógica que únicamente requiere un pin de entrada analógica del microcontrolador.

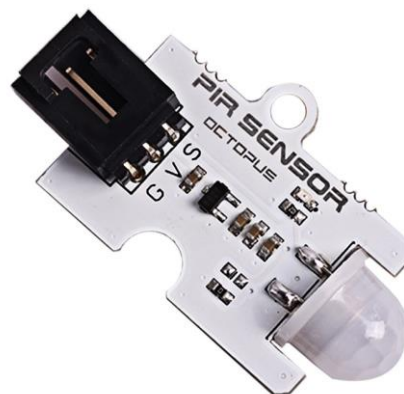
Dicho sensor trabaja a 5 V y tiene un consumo de 800 Mw.



*Ilustración 50: Sensor MQ-2*

#### **5.3.1.10. Sensor de movimiento**

En caso de que alguna persona o animal se introduzca en nuestro invernadero de manera no deseada, haremos uso del sensor Octopus Pir para su detección, el cual es un bloque electrónico basado en el sensor digital inteligente AM412 de infrarrojos piroeléctricos, capaz de detectar movimiento hasta 4-5 metros.



*Ilustración 51: Octopus PIR*

#### **5.3.1.11. Sensor de video**

Para poder ver que ocurre en nuestro invernadero a tiempo real, utilizaremos una cámara genérica con las siguientes características:

- Formato: NTCS y PAL, con una tecla para cambiar
- Sensor: CMOS
- 1000 líneas de televisión
- Lente: 3.6mm

- Fuente de alimentación: DC 4.5-6 V
- Angulo de visión: 120 grados
- Tamaño: 25x17.5x30mm



*Ilustración 52: Cámara de video genérica*

Para poder recibir las imágenes remotamente, necesitaremos un emisor y receptor de imágenes, como el TS832 y el RC832.

Cuyas especificaciones son las siguientes:

- Transmisor TS832
  - Ganancia de la antena: 2db
  - Frecuencia: 5.8G
  - Potencia de transmisión: 600 Ma
  - Entrada de alimentación: 7.4-16V
  - Formato de vídeo: NTSC / PAL Auto
  - Corriente de trabajo: 220mA a 12V
  - Anchura de banda de audio: 6.5M
  - Anchura de banda de vídeo: 8M
  - Peso: Cerca de 22g
  - Dimensión: 54x 32x 10mm (sin antena)
- Receptor RC832
  - Energía de entrada: 12V
  - corriente de trabajo: 200mA max
  - Impedancia de la antena: 50Ω

- o ganancia de antena: 2 dB
- o vídeo Impedancia: 75Ω
- o Formato de vídeo: NTSC / PAL automático
- o Dimensión: 80x 65 x15mm
- o Peso: aproximadamente 85 g



*Ilustración 53: TS832 y TC832*

La cámara ira conectada al transmisor.

Y para poder procesar las imágenes del receptor y transmitir las al ordenador, necesitaremos una capturadora de video, como la Easycap Usb.



*Ilustración 54: Easycap*

## 5.3.2. Actuadores

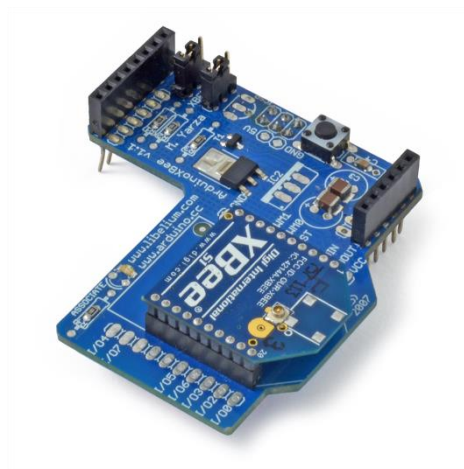
### 5.3.2.1. Módulo radio

Para poder enviar y recibir datos de manera remota a nuestro Arduino, será necesario un módulo radio.

Para ello usaremos el módulo XBee Pro S1, el cual nos permite un alcance de 1.5 km.

Los módulos XBee utilizan el protocolo IEEE 802.15.4 mejor conocido como ZigBee. Este protocolo se creó pensando en implementar redes de sensores. El objetivo es crear redes de tipo malla que tengan las propiedades de auto-recuperación y bajo consumo de energía.

Para usar un módulo XBee con Arduino es necesario un Shield o un adaptador para conectar el puerto serie de XBee con el de Arduino.



*Ilustración 55: Shield XBee*

Para usar o configurar un módulo XBee con Ordenador es necesario un adaptador que generalmente tiene un chip FTDI que hace de pasarela entre el puerto serie y el USB.

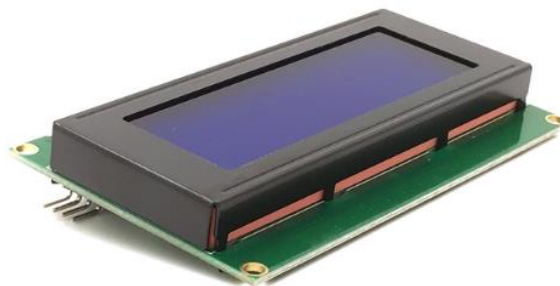


*Ilustración 56: Adaptador USB XBee*

### 5.3.2.2. LCD Display

Haremos uso de un lcd para mostrar ciertos datos informativos del invernadero en tiempo real, ya sea la temperatura interna, la externa como la humedad.

Por tanto, hemos usado el lcd Aptofun 20x4, alimentado a 5 V y conectado al Arduino mediante I2C.



*Ilustración 57: LCD Aptofun*

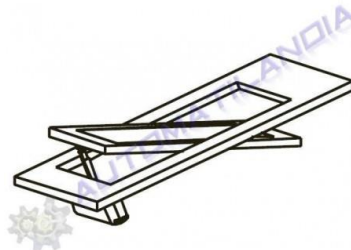
### 5.3.2.3. Servomotor

Usaremos motores para abrir las ventanas cenitales, en nuestro caso usaremos el ST 450.

En nuestro caso, pondremos tres ventanas cenitales de 1 metro de ancho y 3 metros de largo en cada tejado, por lo que tendremos 6 ventanas cenitales, y, por tanto, nos harán falta 6 motores de los anteriores.



*Ilustración 58: ST 450*



*Ilustración 59: Ventana cenital*

Características:

- Tensión de alimentación 230 Vac 50/60 Hz.
- Carrera máxima seleccionable 230/400 mm.
- Fuerza de 300 Nm.
- Potencia: 180 W
- Velocidad  $\sim 30$  mm/s.
- Absorción de corriente (con carga máxima) 0,8 A.
- Conexión en paralelo.
- Final de carrera con Micro interruptores.
- Parada de seguridad térmico.
- Clase de protección IP 20.

#### *5.3.2.4. Climatización del aire*

##### *5.3.2.4.1. Calefacción*

En caso de un descenso de la temperatura que suponga un peligro para nuestro cultivo, necesitaremos una forma de aumentar dicha temperatura hasta una medida adecuada, para ello, haremos uso de un calefactor eléctrico, el Calefactor eléctrico TDS 20 R, el cual, posee un ventilador incorporado, que permite calentar la zona de una manera más rápida.

Sus especificaciones técnicas son las siguientes:

- Calor sin consumo de oxígeno
- Potencia de calentamiento: 5 kW
- Flujo de aire: 580 m<sup>3</sup>/h

- Fuente de alimentación: 230 V / 50 Hz
- Cable de conexión: integrado (longitud 1,6 m)
- Movilidad: portátil
- Nivel de ruido: 53 dB (A)
- Protección contra sobrecalentamiento: sí
- Dimensiones: 210 x 195 x 275 mm
- Peso: 3,2 kg



*Ilustración 60: Bomba de calor*

#### 5.3.2.4.2. Refrigeración

Para el caso contrario al anterior, si la temperatura asciende considerablemente también peligrará nuestro cultivo, por lo que necesitaremos una manera de refrigerar nuestra instalación, para ello, haremos uso de un aire acondicionado, el Ig UV30 NJ2.

Para llevar a cabo una mejor refrigeración haremos uso de dos de estos aires acondicionados y los colocaremos uno a cada lado de nuestra instalación.

Las especificaciones técnicas son las siguientes:

- Potencia de enfriamiento: 7.6 Kw
- Caudal de aire máximo de 834 m<sup>3</sup>/h
- Fuente de alimentación: 230 V / 50 Hz
- Dimensiones: 650x950x220 mm
- Peso: 23 kg



*Ilustración 61: Aire acondicionado*

### 5.3.2.5. Iluminación

Para la iluminación usaremos tiras de leds, ya que son baratas y proporcionan suficiente luminosidad.

En nuestro caso usaremos tiras de led SMD 5050, que tienen un consumo de 15 W/m, y son alimentadas a 12 V.



*Ilustración 62: Tiras led*

Pondremos 4 tiras de led blancas, 4 rojas, 4 azules y 4 verdes a lo largo del invernadero, por lo que al medir 20 m de largo la instalación, tendremos un consumo de 300 W por tira led, y al tener 16, un consumo total de 4800 W.

Los leds irán dentro de un perfil de aluminio con un difusor de policarbonato.





*Ilustración 63: Lámpara de leds*

#### **5.3.2.6. Bomba de agua**

Para poder bombear el agua del depósito hacia los canales de cultivo, haremos uso de la siguiente bomba, Atman AT 106.

Especificaciones técnicas:

- Elevación del agua: 3 metros
- Caudal: 2600 l/h
- Potencia: 60 W
- Alimentación: 230 V / 50 Hz
- Es completamente sumergible
- Flujo de succión regulable
- Puede estar funcionando las 24 h



*Ilustración 64: Bomba de agua*

### 5.3.2.7. Bomba de agua para los depósitos auxiliares

Para impulsar los líquidos correctores desde sus respectivos depósitos al depósito principal, necesitaremos unas bombas de menor potencia, ya que no necesitamos que impulsen tanto volumen de agua.

Usaremos una bomba de agua genérica con las siguientes características:

Caudal: 240 l/h

Altura máxima: 300 cm

Alimentación: 12 V

Potencia: 4.5 W



*Ilustración 65: Bomba de agua auxiliar*

### 5.3.2.8. Oxigenación

Para llevar a cabo el mezclado de los diferentes reguladores de pH y de conductividad se necesitará un mezclador, en nuestro caso, vamos a usar un oxigenador en el depósito principal para llevar a cabo esa función.

La función del oxigenador es la de oxigenar el agua introduciendo aire en la solución, de este modo conseguimos remover la solución, mezclándola, y oxigenar la solución, lo cual es necesario para el óptimo desarrollo de nuestro cultivo.

El oxigenador que usaremos es el siguiente:

Velda Silenta Pro 500:

- Voltaje: 230 V / 50 HZ
- Potencia: 5W
- Capacidad bomba de aire: 500 l/h
- Adecuado para estanques con una capacidad de 5000 l.



*Ilustración 66: Oxigenador*

#### 5.3.2.9. Ventilador

Con el fin de mezclar y de homogeneizar el aire dentro del invernadero haremos uso de un ventilador industrial, el ventilador df 20p de Master.

Cuyas especificaciones técnicas son las siguientes:

- Potencia: 125 W
- Capacidad: 8040 m<sup>3</sup>/h
- Tensión: 230v / 50hz
- Diámetro 500 mm.
- Orientable 360°
- Peso 11,5kgs



*Ilustración 67: Ventilador*

### 5.3.2.10. Relé

Para poder controlar directamente los actuadores desde el Arduino será necesario el siguiente relé, el Kkmoon de 8 canales, se trata de una placa de interfaz de relé de 8 canales, que puede ser controlado directamente por una amplia gama de microcontroladores tales como Arduino, AVR, del PIC, ARM, PLC, etc.

El contacto de relé de salida máxima es AC250V DC30V 10A y 10<sup>a</sup>



*Ilustración 68: Relé de 8 canales*

Su funcionamiento es el siguiente, conectamos Vcc a 5 V, GND a ground y el pin de señal a una salida digital de Arduino.

Por otro lado, conectamos la carga a la clema de tres conexiones. Siempre debemos conectar uno de los polos de la carga al terminal C, que habitualmente es el terminal del medio.

El otro polo de la carga lo conectaremos al terminal NO o NC, dependiendo de si cuando el relé este desactivado queremos que el secundario este abierto (NO), o cerrado (NC).



*Ilustración 69: Montaje del relé*

## 5.4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

A continuación, se lleva a cabo la instalación eléctrica en baja tensión para el suministro eléctrico de nuestra instalación.

El tipo de corriente será alterna trifásica de 50 Hz de frecuencia y en régimen permanente.

La tensión nominal, será de 400 V entre fases y 230 V entre fase y neutro.

Esta corriente, será suministrada por una empresa independiente, por lo que la acometida también será definida por ella.

El punto de suministro corresponderá con el cuadro de salida en baja tensión del centro de transformación.

Para conocer la potencia prevista de nuestra instalación tendremos que conocer el consumo de cada componente:

- Aire acondicionado derecha: 7.6 Kw
- Aire acondicionado izquierda: 7.6 Kw
- Led rojo: 4x300 W=1.2 kW
- Led verde: 4x300 W=1.2 kW
- Led azul: 4x300 W=1.2 kW
- Led blanco: 4x300 W=1.2 kW
- Bomba de calor: 5 kW
- Oxigenador: 5 W
- Motor cenital 1 izq.: 180 W
- Motor cenital 2 izq.: 180 W
- Motor cenital 3 izq.: 180 W
- Motor cenital 1 der: 180 W
- Motor cenital 2 der: 180 W
- Motor cenital 3 der: 180 W
- Bomba de agua principal: 60 W
- Componentes de bajo consumo (Arduino+Sensores+Bombas auxiliares): 700 W

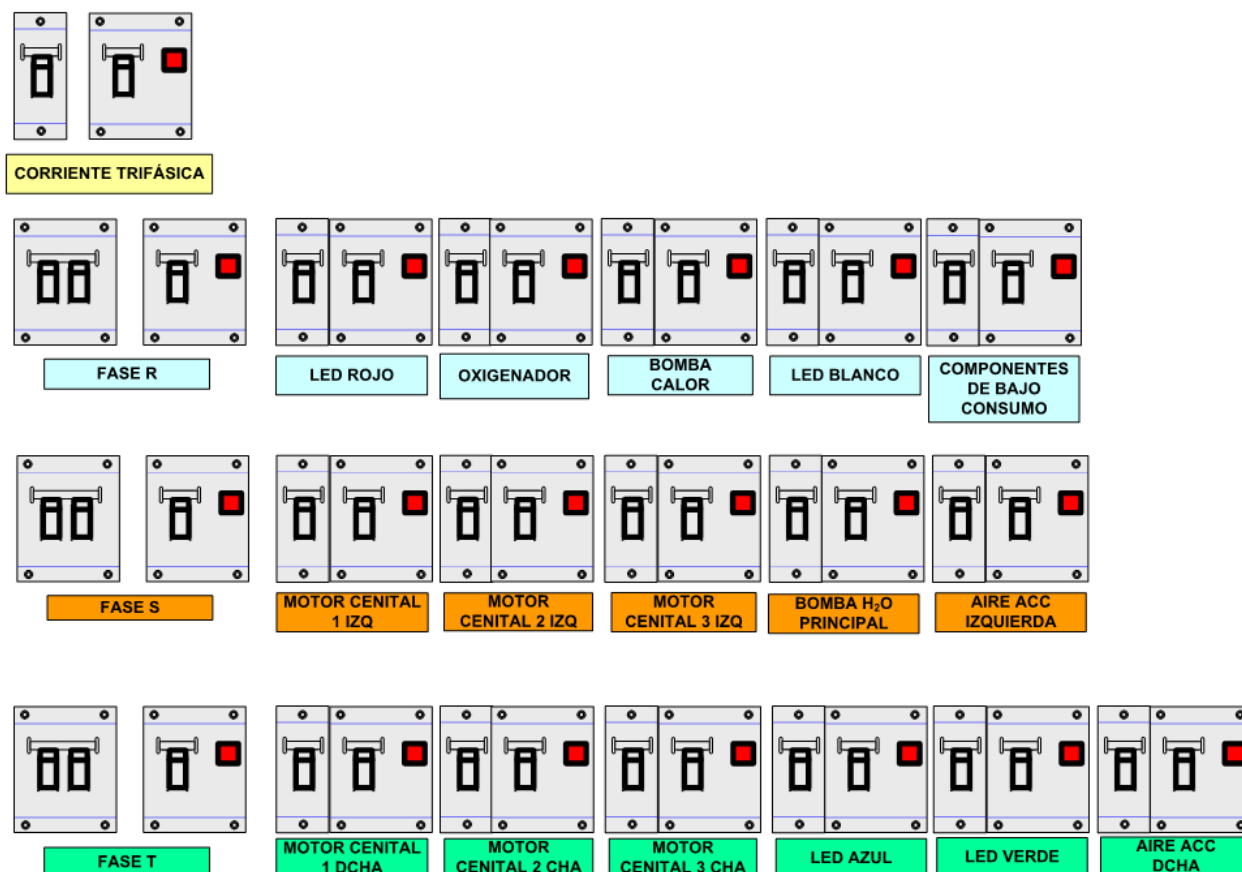
Por lo que tendremos una potencia prevista de 26.84 Kw

Dichos componentes serán distribuidos en las fases de forma que la carga este lo más equilibrada posible.

En la entrada de la instalación tendremos el cuadro general de mando y protección, el cual contará con los siguientes dispositivos de protección:

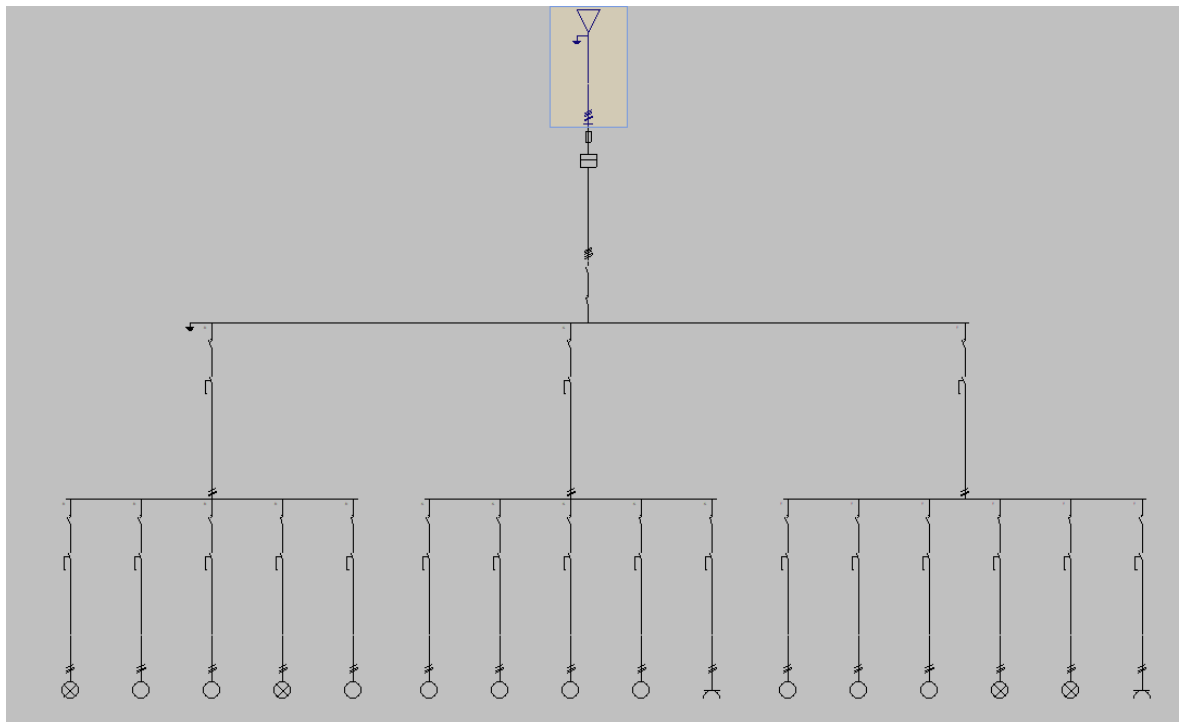
- Un contador al inicio del tendido eléctrico del cliente
- Un interruptor magnetotérmico, que permita su accionamiento manual y proteja contra sobrecargas y cortocircuitos, para cada uno de los circuitos
- Un interruptor diferencial, que proteja contra contactos indirectos para cada uno de los circuitos.

Por lo que el cuadro general tendrá la siguiente forma:



*Ilustración 70: Cuadro eléctrico general*

Y la instalación eléctrica la siguiente:



*Ilustración 71: Instalación eléctrica*

Donde las fases de izquierda a derecha son R, S y T.

Y los componentes han sido distribuidos de la siguiente forma:

- Línea R:
  - Led rojo
  - Oxigenador
  - Bomba de calor
  - Led blanco
  - Componentes de bajo consumo
- Línea S:
  - Motor cenital 1 izq.
  - Motor cenital 2 izq.
  - Motor cenital 3 izq.
  - Bomba de agua principal
  - Aire acondicionado izq.
- Línea T:

- Motor cenital 1 der
- Motor cenital 2 der
- Motor cenital 3 der
- Led azul
- Led verde
- Aire acondicionado der

Cabe concluir este apartado de instalación eléctrica afirmando que solo es un resumen, los cálculos justificativos, derivaciones, canalizaciones, la puesta a tierra y el pliego de condiciones entre otros se encuentra en el anexo correspondiente a la instalación eléctrica.

## 5.5. CONTROL SOFTWARE

En nuestro caso, al usar un microcontrolador Arduino, hemos compilado en el lenguaje de programación de Arduino, el cual está basado en C++.

Antes de mostrar el código, hablaremos un poco de su funcionamiento.

Lo primero que se hace es medir el voltaje de la batería que alimenta al Arduino y a sus componentes, después, se activa el ventilador para mover el aire dentro del invernadero, 5 minutos cada hora desde las 13 hasta las 20 horas; luego, comprueba la temperatura, y si es menor que 7° C activa la bomba de calor, por el contrario, si la temperatura es mayor que 20° C, se desactiva; por otra parte, si la temperatura es mayor que 27° C se activará el aire acondicionado y cuando la temperatura sea menor de 22° C se apagará.

A su vez y de manera continuada, el sensor de ultrasonidos mide el volumen del depósito; el sensor pir, comprueba el movimiento; y el sensor de llama y el de humo comprueban que no haya un incendio o un escape; en caso de activarse uno de estos tres últimos se mandaría un aviso de lo ocurrido.

Si el sensor de luz comprueba que hay poca luz o nada, se entenderá o bien que es de noche o que el cielo está nublado, en ambos casos nuestro cultivo necesitara de luz para poder desarrollarse, por lo que se activarán los leds azules y rojos, y no se apagarán hasta que el luxómetro compruebe que hay luz suficiente.

Por otra parte, si la temperatura se encuentra en el margen óptimo, de 16 a 22 °C, las ventanas cenitales se abrirán, si por el contrario no sucede ese caso, se abrirán



solo diez minutos cada hora, desde las 9 hasta las 21 horas, con el fin de renovar el aire de dentro del invernadero.

Y, por último, se realizarán medidas continuadas de la mezcla hidroponía, de tal forma que, si se detecta la ausencia o el exceso de pH o de conductividad, se activen las bombas de los líquidos reguladores hasta que la composición de la mezcla sea la óptima.

Todos los datos anteriores serán convertidos a un string con el fin de poder transmitirlos posteriormente a LabView.

Para concluir, cabe destacar, que tanto la bomba del depósito principal como el oxigenador no son controlados por Arduino, si no que desde que se le da corriente a la instalación se activan de manera continuada.

```
#include <BH1750.h>
#include <DHT.h>           //EMPLEO CON SENSOR DHT22//TEMPERATURA Y HUMEDAD
#define DHTPIN 2           //EMPLEO CON SENSOR DHT22//TEMPERATURA Y HUMEDAD
INTERIOR
#define DHTPIN5 5          //EMPLEO CON SENSOR DHT22//TEMPERATURA Y HUMEDAD
EXTERIOR
#define DHTTYPE DHT22      //EMPLEO CON SENSOR DHT22//TEMPERATURA Y HUMEDAD
#include <SFE_BMP180.h>     //EMPLEO CON SENSOR BMP180//PRESION ATMOSFERICA
#include <Wire.h>           //EMPLEO CON SENSOR BMP180//PRESION ATMOSFERICA
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //EMPLEO CON DISPLAY 20x4//cambiado return 0
por return 1
#include "DS1307.h"        //EMPLEO CON SENSOR RTC

//INICIO VARIABLES VOLTÍMETRO////
const int sensorVoltaje=A1; //pin Analógico a utilizar
int voltaje_analogico_Arduino; //lectura en A1
float voltaje_real_amplificado; //voltaje real de 0-2500 voltios
float voltaje_real; //voltaje real de 0-25 voltios
int vv; //usada para saber el tamaño de lectura (sizeof) de la variable
"voltaje_real"
String w="0"; //carácter para completar por la izda. valores a 0 y que no
descuadre la lectura de LabView
//FIN VARIABLES VOLTÍMETRO////

//INICIO VARIABLES BOMBA CALOR////
int calor=0;
//FIN VARIABLES BOMBA CALOR////

//INICIO VARIABLES AIRE ACONDICIONADO////
int acc=0;
//FIN VARIABLES AIRE ACONDICIONADO////

//INICIO VARIABLES VENTILADOR////
int ventilador=0;
//FIN VARIABLES VENTILADOR////

//INICIO VARIABLES RELOJ RTC////
int hora;
```

```

int minuto;
//FIN VARIABLES RELOJ RTC////

//INICIO VARIABLES SENSOR LLAMA////fd
const int sensorLLAMA = A0;
int llama;
byte estado_LLAMA;
//FIN VARIABLES SENSOR LLAMA////

//INICIO VARIABLE SENSOR ULTRASONIDOS//
int cms;
long espera;
String US="0"; //carácter para completar por la izda. valores a 0 y que no
descuadre la lectura de LabView
//FIN VARIABLE SENSOR ULTRASONIDOS//

//INICIO VARIABLE DEL LUXÓMETRO//////////
uint16_t lux;
//FIN VARIABLE DEL LUXÓMETRO//////////

//INICIO VARIABLE DEL SENSOR PIR//////////
byte sensorPIR = 4;
byte estado;
//FIN VARIABLE DEL SENSOR PIR//////////

//INICIO VARIABLE DEL SENSOR HUMO//////////
byte sensorHUMO = 8;
byte estado_HUMO=0;
//FIN VARIABLE DEL SENSOR HUMO//////////

//VARIABLES BANCADAS LUCES LED//////////
int led_blanco;
int led_rojo;
int led_azul;
int led_verde;
//FIN VARIABLES BANCADAS LUCES LED//////////

//VARIABLES DEL SENSOR DHT22 INTERIOR//////////
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //EMPLEO CON SENSOR DHT22
float h; //usada para asignarle la humedad atmosférica del DHT22
float t; //usada para asignarle la temperatura del DHT22
String aa; //usada para convertir la humedad atmosférica (float) en un string
String c; //usada para convertir la temperatura (float) en un string
String d = "0"; //usada para completar cifras por la izda en temperatura,
humedad y presión
int n; //usada en sizeof() para la temperatura
int m; //usada en length() para la temperatura
int p; //usada en sizeof() para la humedad atmosférica
int q; //usada en length() para la humedad atmosférica
//FIN VARIABLES DEL SENSOR DHT22 INTERIOR//////////

//VARIABLES DEL SENSOR DHT22 EXTERIOR//////////
DHT dht1(DHTPIN5, DHTTYPE); //EMPLEO CON SENSOR DHT22
float h1; //usada para asignarle la humedad atmosférica del DHT22
float t1; //usada para asignarle la temperatura del DHT22

```

```
String aa1; //usada para convertir la humedad atmosférica (float) en un string
String c1; //usada para convertir la temperatura (float) en un string
String d1 = "0"; //usada para completar cifras por la izda en temperatura,
humedad y presión
int n1; //usada en sizeof() para la temperatura
int m1; //usada en length() para la temperatura
int p1; //usada en sizeof() para la humedad atmosférica
int q1; //usada en length() para la humedad atmosférica
//FIN VARIABLES DEL SENSOR DHT22 EXTERIOR//////////

//VARIABLES DEL SENSOR BMP180//////////
String pr; //usada para convertir la presión atmosférica (float) en un string
String prdisplay; //usada para asociar "pr" al display
char status;
double T, P, p0, a;
int pp; //usada en sizeof() para la presión atmosférica
SFE_BMP180 pressure;
#define ALTITUDE 240.0 // Altitude of SparkFun's HQ in Boulder, CO. in meters
//FIN VARIABLES DEL SENSOR BMP180//////////

//DECLARAR EL DISPLAY 20x4//////////
//Crear el objeto lcd dirección 0x27 y 16 columnas x 2 filas
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 20, 4);

byte customChar[8] = { // definicion del nuevo caracter "°" de °t
    B00100,
    B01010,
    B01010,
    B00100,
    B00000,
    B00000,
    B00000,
    B00000
};

//FIN DECLARAR EL DISPLAY 20x4//////////

//INICIO DECLARAR LUXÓMETRO BH1750//////////
BH1750 lightMeter(0x23);
//FIN DECLARAR LUXÓMETRO BH1750//////////

//INICIO DECLARAR OBJETO RELOJ DEL SENSOR RTC (sensor tiempo real)//////////
DS1307 reloj;
//FIN DECLARAR OBJETO RELOJ DEL SENSOR RTC (sensor tiempo real)//////////

void setup() {

    Serial.begin(9600);
    reloj.begin();

    //INICIO CONFIGURACIÓN RELOJ RTC//////////
    reloj.fillByYMD(2017,15,6); //2017 16 junio
    reloj.fillByHMS(18,22,20); //20:55 30"
    reloj.fillDayOfWeek(THU); //Saturday
    // reloj.setTime(); //write time to the RTC chip //Esta línea hay que
    //descomentarla
    //la primera vez que lo ponemos en hora. Subimos el sketch.
    //Luego la comentamos y lo volvemos a subir.
```

```
//FIN CONFIGURACIÓN RELOJ RTC//////////

//INICIO DECLARACIÓN PIN VENTANAS/////
pinMode(6,OUTPUT);
//FIN DECLARACIÓN PIN VENTANAS/////

//INICIO DECLARACIÓN PIN VENTILADOR//
//pinMode(A1,OUTPUT); //he declarado un pin analógico como salida digital
//digitalWrite(A1,LOW);
pinMode(13,OUTPUT);
digitalWrite(13,LOW);
//FIN DECLARACIÓN PIN,s VENTILADOR//

//INICIO DECLARACIÓN PIN BOMBA CALOR//
pinMode(A2,OUTPUT); //he declarado un pin analógico como salida digital
digitalWrite(A2,LOW);
//FIN DECLARACIÓN PIN BOMBA CALOR//

//INICIO DECLARACIÓN PIN AIRE ACONDICIONADO//
pinMode(A3,OUTPUT); //he declarado un pin analógico como salida digital
digitalWrite(A3,LOW);
//FIN DECLARACIÓN PIN AIRE ACONDICIONADO//

//INICIO DECLARACIÓN PIN,s SENSOR ULTRADONIDOS
pinMode(3,OUTPUT); //Pin de PING
pinMode(7,INPUT); //Pin de ECO
//FIN DECLARACIÓN PIN,s SENSOR ULTRADONIDOS

//INICIO DECLARACIÓN PIN,s LUCES LED//
pinMode(9, OUTPUT); //LED,s ROJOS
digitalWrite(9,LOW); //LED,s ROJOS
pinMode(10, OUTPUT); //LED,s AZULES
digitalWrite(10,LOW); //LED,s AZULES
pinMode(11, OUTPUT); //LED,s BLANCOS
digitalWrite(11,LOW); //LED,s BLANCOS
pinMode(12, OUTPUT); //LED,s VERDES
digitalWrite(12,LOW); //LED,s VERDES
//FIN DECLARACIÓN PIN,s LUCES LED//

dht.begin(); //EMPLEO CON SENSOR DHT22
pressure.begin(); //EMPLEO CON SENSOR DBMP180

////////INICIO EMPLEO SENSOR PIR//////////
pinMode(sensorPIR, INPUT); //puerto digital 4

//delay(500);
////////FIN EMPLEO SENSOR PIR//////////

////////INICIO EMPLEO SENSOR HUMO//////////
pinMode(sensorHUMO, INPUT); //puerto digital 8

//delay(500);
////////FIN EMPLEO SENSOR HUMO//////////

///INICIO MÓDULO LCD//////////
// Inicializar el LCD
lcd.init();
```

```
//Encender la luz de fondo del LCD
lcd.backlight();

// registro el nuevo caracter del LCD "°"
lcd.createChar(0, customChar);
///FIN MÓDULO LCD/////////

///INICIO CONFIGURACIÓN MODO DE TRABAJO DEL LUXÓMETRO BH1750/////////
lightMeter.begin(BH1750_CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE);
///FIN CONFIGURACIÓN MODO DE TRABAJO DEL LUXÓMETRO BH1750/////////
}

void loop() {

///INICIO EXTRACCIÓN DE DATOS DEL RELOJ RTC/////
reloj.getTime(); //Serial.println(estado_LLAMA);
hora=reloj.hour;
minuto=reloj.minute;
///FIN EXTRACCIÓN DE DATOS DEL RELOJ RTC/////

///INICIO CALCULO VOLTAJE////
voltaje_analogico_Arduino=analogRead(sensorVoltaje);
voltaje_real_amplificado=map(voltaje_analogico_Arduino,0,1023,0,2500);
voltaje_real=voltaje_real_amplificado/100;
String svoltaje_real; //usada para que el formato de voltaje sea xx.xx y no
x.xx cuando el valor sea <10 voltios

if(sizeof(voltaje_real<4)){svoltaje_real=w+voltaje_real;} //si voltaje <10 volt
else{svoltaje_real= String(voltaje_real);} //si voltaje >=10
volt

//Serial.println(sizeof(voltaje_real));

//FIN CALCULO VOLTAJE////

///INICIO ACTIVACIÓN/PARADA DEL VENTILADOR. 5 MINUTOS A LAS HORAS EN PUNTO
(13:00-20:00)//
if((reloj.hour==13 or reloj.hour==14 or reloj.hour==15 or reloj.hour==16 or
reloj.hour==17 or reloj.hour==18 or reloj.hour==19 or reloj.hour==20) and
reloj.minute==0){
//digitalWrite(A1,HIGH);
digitalWrite(13,HIGH);
ventilador=1;}
if(reloj.minute==5){
//digitalWrite(A1,LOW);
digitalWrite(13,LOW);
ventilador=0;}
//FIN ACTIVACIÓN/PARADA DEL VENTILADOR. 5 MINUTOS A LAS HORAS EN PUNTO//

///INICIO ACTIVACIÓN/PARADA BOMBA CALOR//// (Prueba. Enciende si T°int<7°. Apaga
si T°int>20°)
if(t<7){
digitalWrite(A2,HIGH);
calor=1;}

if(t>20){
```

```

    digitalWrite(A2,LOW);
    calor=0;}
//FIN ACTIVACIÓN/PARADA BOMBA CALOR////

//INICIO ACTIVACIÓN/PARADA ACC//// (Prueba. Enciende si T°int>27°. Apaga si
T°int<22°)
if(t>27){
    digitalWrite(A3,HIGH);
    acc=1;}

if(t<22){
    digitalWrite(A3,LOW);
    acc=0;}
//FIN ACTIVACIÓN/PARADA ACC////

////INICIO SENSOR ULTRASONIDOS/////
digitalWrite(3,LOW);
delayMicroseconds(4);
digitalWrite(3,HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(3,LOW);
espera=pulseIn(7,HIGH);
cms=espera*10/292/2;
////FIN SENSOR ULTRASONIDOS/////

////INICIO SENSOR LLAMA/////
//por el día el Sol produce falsos positivos. Sólo se activará entre el ocaso
y el alba (22:00-06:00)
if(not(hora>=6 and hora<=22)){
    int llama = analogRead(sensorLLAMA);
    // Comentado para no interferir a LabView// Serial.println(llama);
    if (llama < 500)
    {
        estado_LLAMA = 1;
        //Serial.println("Fuego con llamas");
        //encender leds blancos
    }
    if (llama >= 500)
    {
        estado_LLAMA = 0;
        //Serial.println("No hay llamas");
        //apagar leds blancos
    }
}
////FIN SENSOR LLAMA/////

////INICIO SENSOR PIR////
estado = digitalRead(sensorPIR);

if (estado == 1) {} //encender leds blancos
//Serial.println("Peligro, movimiento sospechoso");// Comentado para no
interferir a LabView//
if (estado == 0) {} //apagar leds blancos
////FIN SENSOR PIR////

```

```

///INICIO SENSOR HUMO///
estado_HUMO = digitalRead(sensorHUMO);
if (estado_HUMO == 1) {} //encender leds blancos
//Serial.println("Peligro, humo");// Comentado para no interferir a LabView//
if (estado == 0) {} //apagar leds blancos
///FIN SENSOR HUMO///

///INICIO ENCENDER/APAGAR LED,s BLANCOS Y VERDES POR LLAMA 0 MOVIMIENTO O
HUMO/////////
if (estado_LLAMA == 1 or estado == 1 or estado_HUMO == 1) { //ENCENDER
    digitalWrite(11, HIGH);
    digitalWrite(12, HIGH);
    led_blanco = 1;
    led_verde = 1;
}
if (estado_LLAMA == 0 and estado == 0 and estado_HUMO == 0) { //APAGAR
    digitalWrite(11, LOW);
    digitalWrite(12, LOW);
    led_blanco = 0;
    led_verde = 0;
}
///FIN ENCENDER/APAGAR LED,s BLANCOS Y VERDES POR LLAMA 0 MOVIMIENTO O
HUMO/////////

///INICIO SENSOR LUX///
lux = lightMeter.readLightLevel();
///FIN SENSOR LUX///

/////////INICIO ENCENDER/APAGAR BANCADA DE LUCES LED SEGÚN LUX EN
INVERNADERO/////////
/*Lógica de funcionamiento: los LED,s Rojos y Azules se encienden cuando
LUX<100 pero no se
apagan hasta estar LUX>700. Para evitar el continuo apagado encendido debido
a la propia
acción de los LED,s sobre LUX */
if (lux < 100) {
    digitalWrite(9, HIGH); //leds rojos
    digitalWrite(10, HIGH); //leds azules
    led_rojo=1;
    led_azul=1;
    // digitalWrite(11,HIGH);//leds blancos
    // digitalWrite(12,HIGH);//leds verde
}

if (lux > 700) {
    digitalWrite(9, LOW);
    digitalWrite(10, LOW);
    led_rojo=0;
    led_azul=0;
}

/////////FIN ENCENDER/APAGAR BANCADA DE LUCES LED SEGÚN LUX EN
INVERNADERO/////////

/////////INICIO MÓDULO TEMPERATURA Y HUMEDAD///SENSOR DHT22 INTERIOR/////////
h = dht.readHumidity();

```

```
t = dht.readTemperature();

c = String(t);
m = c.length(); //normalmente vale 4 (23.00 °)
n = sizeof(t);
if (m < 4) {
    c = d + c;
}

aa = String(h);
q = aa.length(); //normalmente vale 4 (42.34 %)
p = sizeof(h);
if (q < 4) {
    aa = d + aa;
}

/////FIN MÓDULO TEMPERATURA Y HUMEDAD///SENSOR DHT22 INTERIOR//////////

////////INICIO MÓDULO TEMPERATURA Y HUMEDAD///SENSOR DHT22 EXTERIOR//////////
h1 = dht1.readHumidity();
t1 = dht1.readTemperature();

c1 = String(t1);
m1 = c1.length(); //normalmente vale 4 (23.00 °)
n1 = sizeof(t1);
if (m1 < 4) {
    c1 = d1 + c1;
}

aa1 = String(h1);
q1 = aa1.length(); //normalmente vale 4 (42.34 %)
p1 = sizeof(h1);
if (q1 < 4) {
    aa1 = d1 + aa1;
}

/////FIN MÓDULO TEMPERATURA Y HUMEDAD///SENSOR DHT22 EXTERIOR//////////

//////////INICIO MÓDULO PRESION ATMOSFERICA///SENSOR BMP180/////
status = pressure.startTemperature();
status = pressure.startPressure(3);
status = pressure.getPressure(P, T);

delay(100); //para dar tiempo al sensor a testear correctamente sus valores

if (status != 0)
{
    delay(status);
    status = pressure.getTemperature(T);

    if (status != 0)
    {
        status = pressure.startPressure(3); //(3)
    }
}
```



```

pr = String(P);
prdisplay = pr;
pp = pr.length(); //normalmente vale 6 (1032.00 °)
pp = sizeof(P);
if (pp < 6) {
    pr = d + pr;
}

////////FIN MÓDULO PRESION ATMOSFERICA////////SENSOR BMP180///

////INICIO MÓDULO VENTANAS/////
//Dos casos:
//1) Text >=16º y <=22º
//2) otra Text

//Caso 1º (si la ºT exterior está dentro de un rango óptimo de temperaturas
abro las ventanas)
if (t1>=16 and t1<=22){digitalWrite(6,HIGH);}
//Caso 2º (si la ºT exterior no está dentro de un rango óptimo de
temperaturas abro las ventanas 10' a las 09:00 y a las 21:00)
if (t1<16 or t1>22){
    if((hora==9 or hora==21) and minuto==0){digitalWrite(6,HIGH);}
    if((hora==9 or hora==21) and minuto==10){digitalWrite(6,LOW);}
}
////FIN MÓDULO VENTANAS/////

////INICIO MÓDULO DISPLAY////////////////////////////////////
////inicio ºt, humedad relativa y luxes dentro del invernadero/////
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("INT");

lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print(t);
lcd.write(0); // escribo el nuevo caracter en pantalla
//lcd.print(" grados");

lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print(h);
lcd.print(" %");
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(lux);
lcd.print(" lx");
////fin ºt, humedad relativa y luxes dentro del invernadero/////

////inicio ºt, humedad relativa y presión fuera del invernadero/////
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("EXT");

lcd.setCursor(4, 2);
lcd.print(t1);
lcd.write(0); // escribo el nuevo carácter en pantalla
//lcd.print(" grados");
lcd.setCursor(11, 2);
lcd.print(h1);
lcd.print(" %");
////fin ºt, humedad relativa y presión fuera del invernadero/////

```

```

////inicio presión////
lcd.setCursor(6, 3);
lcd.print(prdisplay);
lcd.print("  mb");
////fin presión////

///FIN MÓDULO DISPLAY

/*
  Los sensores que vienen a continuación
  - CONDUCTIVIDAD
  - Ph
  están comentados porque no se ha podido hacer pruebas con ellos
  y por lo tanto no se puede garantizar que el código aunque compile sin
  errores
  tenga el comportamiento esperado en los citados sensores.

  Para no embarullar el código no se han insertado en la parte correspondiente:
  - Declaración de PIN asociado al sensor y los periféricos implicados (bombas
  correspondientes).
  - Declaración de variables asociadas al sensor y los periféricos implicados
  (bombas correspondientes).
  - Declaración del propio sensor, caso de ser necesario.
  Siendo consciente de que las anteriores acciones son muy sencillas de
  resolver si se llega a contar
  físicamente con los sensores.

  Se parte de la base de que ambos sensores se comunican con la placa Arduino a
  través
  del protocolo I2C

  ///INICIO SENSOR DE CONDUCTIVIDAD////////
  conductividad = conduct.sensor_cond (); //ficticio pero muy semejante a la
  realidad

  if
  (conductividad>valor_máximo_conductividad){bomba_correctora_conductividad_posit
  iva=on;}
  if
  (conductividad<valor_máximo_conductividad){bomba_correctora_conductividad_posit
  iva=off;}

  if
  (conductividad<valor_mínimo_conductividad){bomba_correctora_conductividad_negat
  iva=on;}
  if
  (conductividad>valor_mínimo_conductividad){bomba_correctora_conductividad_negat
  iva=off;}
  ///FIN SENSOR DE CONDUCTIVIDAD////////

  ///INICIO SENSOR DE Ph/////////
  PHh = ph.sensor_ph (); //ficticio pero muy semejante a la realidad

  if (PHh>valor_máximo_Ph){bomba_correctora_Ph_positivo=on;}
  if (PHh<valor_máximo_Ph){bomba_correctora_Ph_positivo=off;}

```

```
if (PHh<valor_mínimo_Ph){bomba_correctora_Ph_negativa=on;}
if (PHh>valor_mínimo_Ph){bomba_correctora_Ph_negativa=off;}
///FIN SENSOR DE Ph/////
*/

Serial.println("##" +c+ "##" +aa+ "##" +pr+ "##" +c1+ "##" +aa1+ "##"
+estado_LLAMA+ "##" +estado+ "##" +estado_HUMO+ "##" +led_blanco+ "##"
+led_rojo+ "##" +led_azul+ "##" +led_verde+ "##" +cms+ "##" +ventilador+ "##"
+calor+ "##" +acc+ "##"+svoltaje_real+"##"+lux);
/*
Caso de contar con los sensores de Ph y Conductividad habría que enviar estos
datos a LabView,
quedando la comunicación Serial tal que:
Serial.println("##" +c+ "##" +aa+ "##" +pr+ "##" +c1+ "##" +aa1+ "##"
+estado_LLAMA+ "##" +estado+ "##" +estado_HUMO+ "##" +led_blanco+ "##"
+led_rojo+ "##" +led_azul+ "##" +led_verde+ "##" +cms+ "##" +ventilador+ "##"
+calor+ "##" +acc+ "##"+svoltaje_real+"##"+lux+"##"+PHh+"##"+conductividad);
*/
}
```

### 5.5.1. UML

A continuación, se muestra una representación gráfica del funcionamiento mediante varios UML:

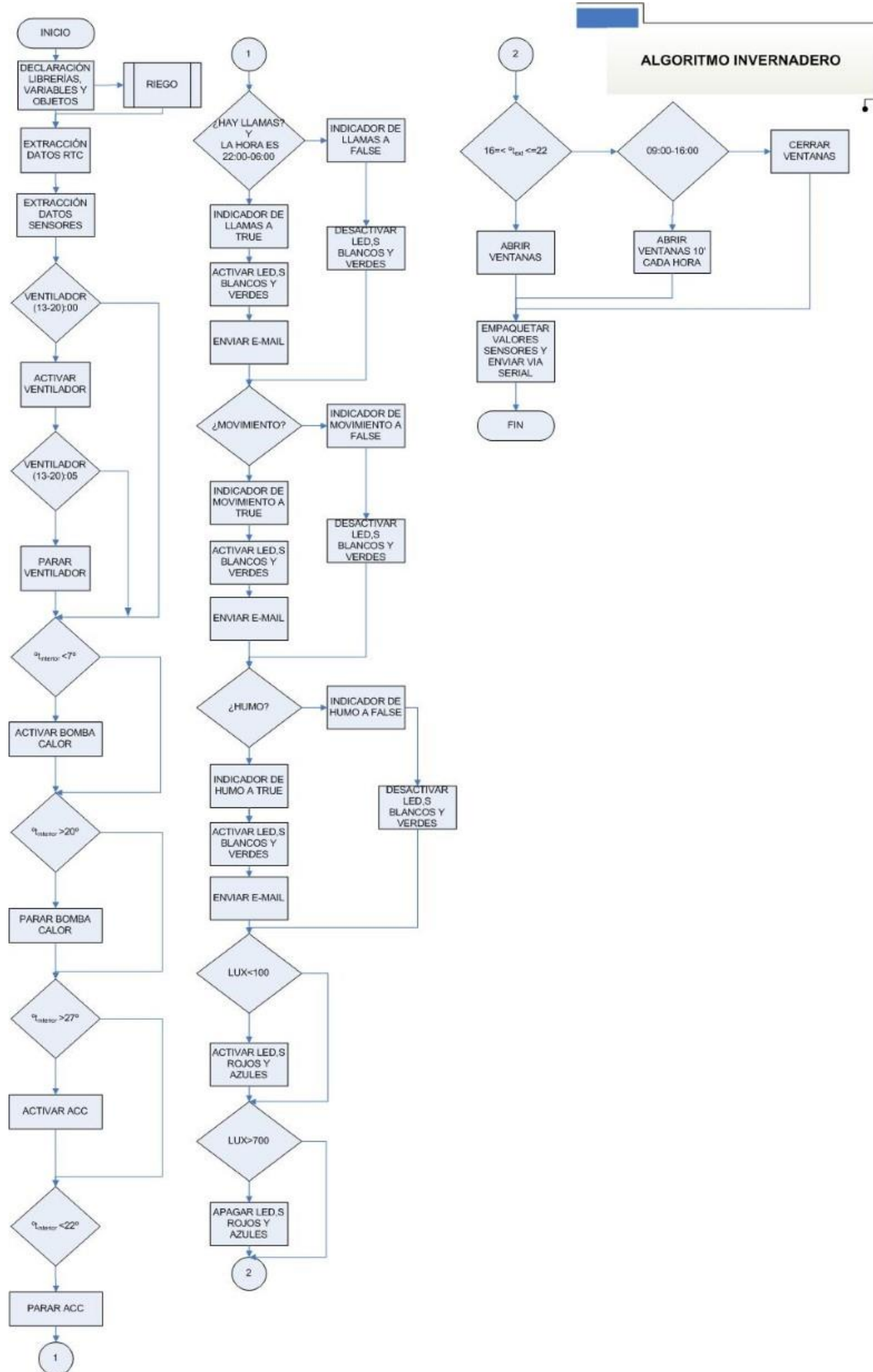


Ilustración 72: UML del invernadero

### ALGORITMO SUBMÓDULO DE RIEGO

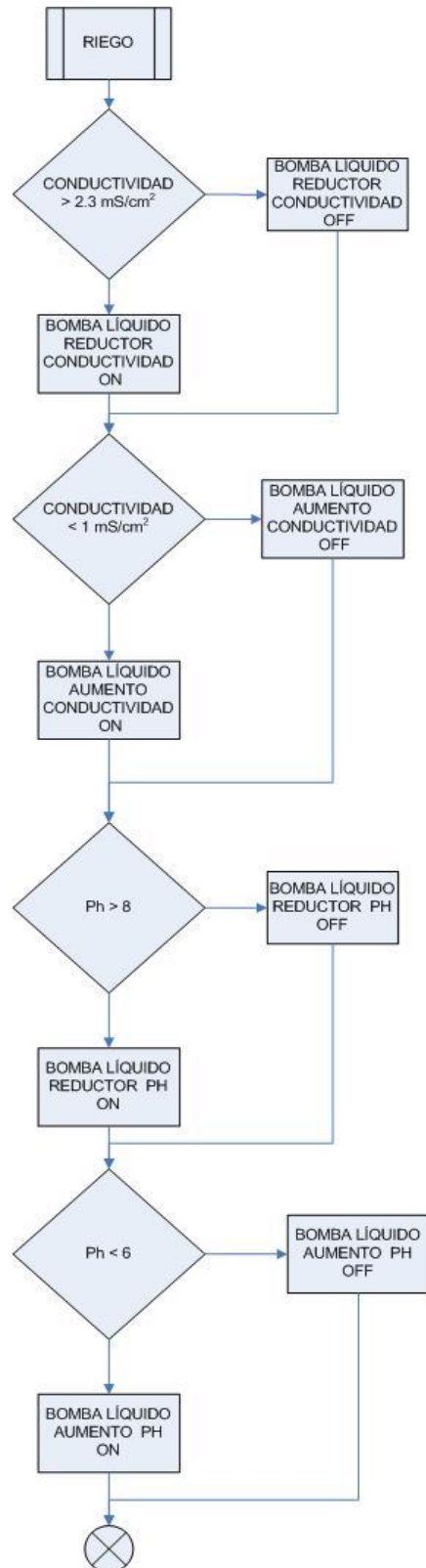


Ilustración 73: UML de riego

## 5.6. INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA

La explicación del flujo de LabView o lo que es lo mismo de su código de programación, se hace a través del Diagrama de Bloques.

Podemos observar que hay dos zonas claramente independientes entre sí:

- A. Zona de la comunicación serial, la cual incluye a la subzona de envío de correos electrónicos.
- B. Zona de captura de vídeo.

Características de las dos zonas:

- Los códigos de la zona A y de la Zona B se ejecutan en paralelo.
- Los códigos de las dos zonas son independientes entre sí.
- Las dos zonas reciben la información de periféricos.
- Las dos zonas reciben la información vía radio.
- Los dos circuitos radio son del tipo simplex, es decir, sólo trabajan en un sentido, ya que sólo reciben información.
- Zona de la comunicación serial.
  - Recibe información de los sensores del invernadero.
  - La recibe a través de módulos XBEE Pro S1.
- Zona de captura de vídeo.
  - Recibe información de vídeo en tiempo real de dentro del invernadero.
  - La recibe a través del conjunto TS832 (Transmisor) - (RC832 (Receptor) + capturadora de vídeo *EasyCap*.

## Comenzamos explicando la Zona de la comunicación serial

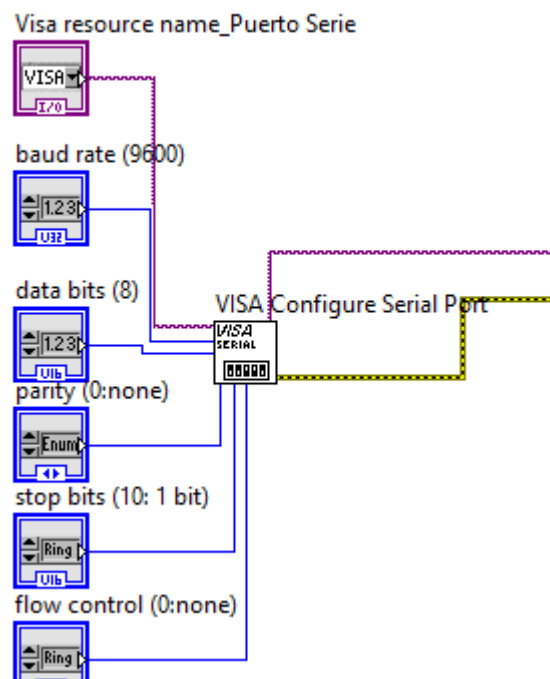


Ilustración 74: Visa configure serial port

Con el objeto "VISA configure Serial Port" configuraremos el puerto serie a utilizar. Con el resto de objetos definimos el resto de parámetros de la comunicación:

- Puerto serial a utilizar, con el objeto *Visa Resource Name*. (Ej.: COM3)
- *Baud Rate*: Velocidad de transferencia de datos en baudios, tanto en emisión como en recepción, en el canal serial. En nuestro caso 9600 baudios.
- *Data Bits*: Indica el número de bits de cada byte recibido que se considerarán como bits de datos. Puede valer de 5 a 8. En nuestro caso 8 bits
- *Parity*: Indica el tipo de paridad que se desea utilizar. En nuestro caso he elegido 0, pero hay tres posibilidades:
  - Sin paridad:0
  - Paridad impar:1
  - Paridad par:2
- *Stop bits*: Indica el número de bits Bit de stop que se desea configurar. En nuestro caso he elegido 1, pero hay dos posibilidades:
  - 0: 1 bit de stop.
  - 1: 2 bit de stop.

- *Flow Control*: Permite determinar el tipo de control de flujo. En nuestro caso he elegido "Sin control de flujo" (0: none) pero hay disponibles las siguientes opciones:
  - None
  - XON/XOFF
  - RTS/CTS
  - XON/XOFF & RTS/CTS
  - DTR/DSR
  - XON/XOFF & DTR/DSR

Como podemos observar, son los valores típicos de una comunicación serial.

Una vez definida la comunicación serial se crean dos "cables". Estos cables contienen:

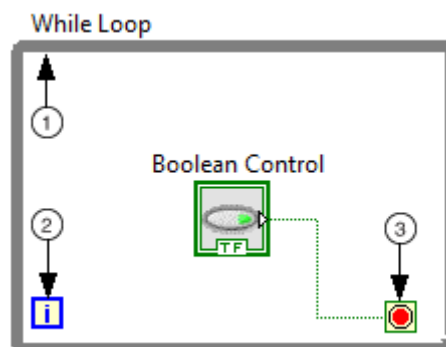
~~~~~

Morado: datos de la comunicación serial.

~~~~~

Amarillo: códigos de error del canal serial.

Estos cables penetran en la estructura iterativa *While Loop*, cuya misión es repetir el código que contiene mientras una determinada condición sea cierta o falsa.



*Ilustración 75: Bucle loop*

- 1: contiene el código que se ejecutará una vez por iteración.
- 2: cuenta el número de iteraciones realizadas. Comienza en cero y puede llegar hasta 2.147.483.647 iteraciones.
- 3: condición de terminación. Evalúa un valor de entrada booleano para determinar si se debe continuar ejecutando While Loop.



Continuemos con los cables. Para poder leer los datos que circulan por el cable morado (que son los recibidos por el puerto serie) deberemos introducir un objeto que nos permita esa lectura. Insertamos para ello un objeto *VISA Read* y le definiremos un buffer de lectura, que en nuestro caso es de 200 bytes.

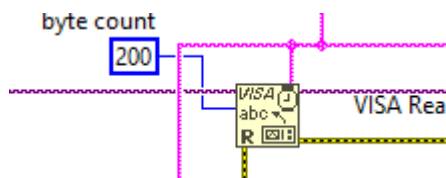


Ilustración 76: VISA read

Ahora que tenemos la capacidad de leer hay que mostrar esos datos, pero nos encontramos con tres problemas:

1. Todos los datos van empaquetados en serie, es decir, uno detrás de otro. Eso sí, siempre de la misma manera, es decir, en el mismo orden. Este problema lo resolvemos con un objeto al que le marco una posición desde la que debe leer y el número de posiciones que debe leer. Insertaremos un objeto *String Subset*.

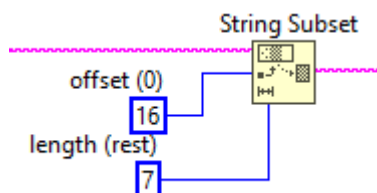


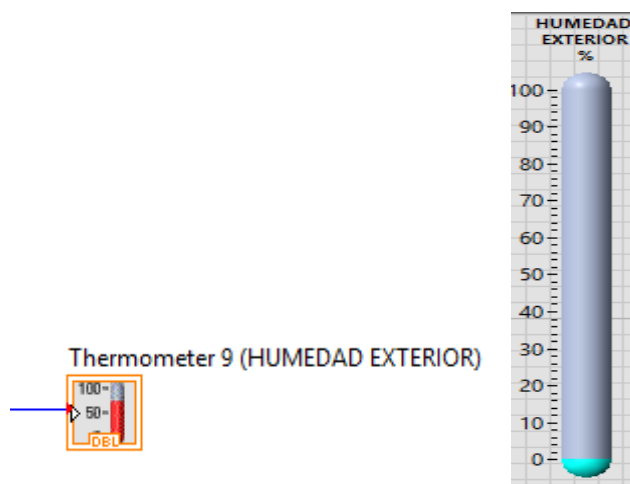
Ilustración 77: String subset

Le hemos configurado que se sitúe en el carácter 16 y lea los 7 siguientes. Este caso corresponde a la obtención de la presión atmosférica.

Lógicamente habrá que crear un String Subset por dato a capturar. En nuestro caso 18 String Subset.

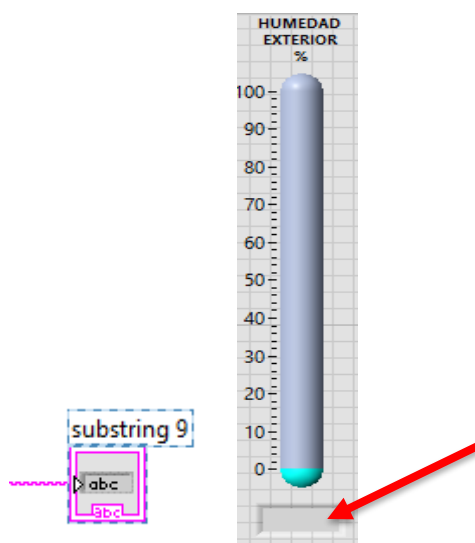
2. Ya tenemos los datos en memoria, pero hay que visualizarlos. Esto es bastante más fácil. LabView ofrece multitud de indicadores. Los que yo he elegido son:

- a. Indicadores tipo termómetro vertical.



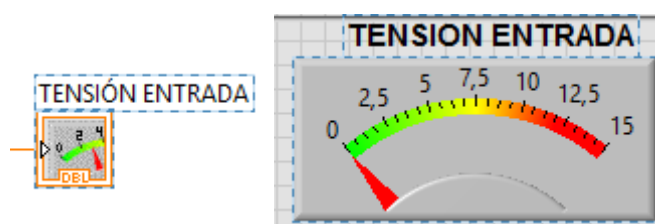
*Ilustración 78: Indicador de temperatura*

- b. Indicadores de tipo "caja de texto".



*Ilustración 79: Indicador caja de texto*

- c. Indicadores tipo dial.



*Ilustración 80: Indicador tipo dial*

d. Indicadores tipo LED.

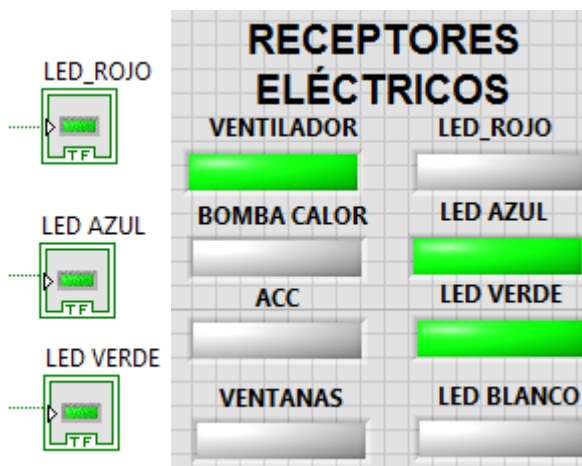


Ilustración 81: Indicadores tipo led

e. Indicador tipo depósito

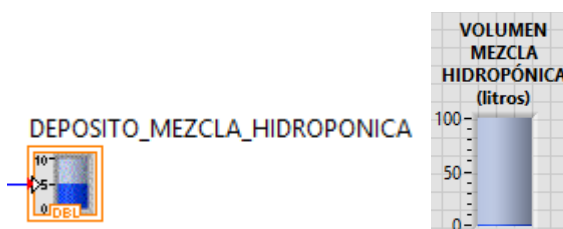


Ilustración 82: Indicador tipo deposito

- El tercer problema está relacionado con los tipos de variable. El objeto "Visa Read" entrega datos tipo string (cable rosa). No olvidemos que cada tipo de variable tiene un color, el cual se plasma en el color de los cables, de los sensores y de los indicadores. El intentar relacionar objetos entre sí que esperan variables de distinto tipo puede dar problemas. Para evitarlo se añaden objetos que "compatibilizan" estos casos.

El valor que sale de un objeto *VISA Read* es del tipo string (rosa), luego para compatibilizarlo con un indicador que espera un Float (azul) tendré que poner en medio un objeto *Decimal String To Number*. Este problema se da sobre todo en los indicadores gráficos:

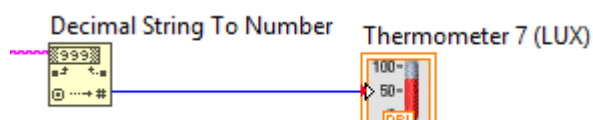


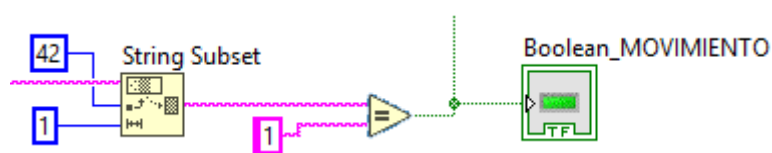
Ilustración 83: String a decimal

Una vez que hemos solucionado los problemas de representatividad hay partes del "código" que necesitan implementar lógicas de decisión, ya sea AND u OR. Simples o Complejas.

- Lógica simple

Basada en una única decisión.

Veamos un ejemplo:



*Ilustración 84: Creación de un string*

Para poner a ON la alarma de movimiento es necesario que el valor que lo indica en la cadena serial (posición 42+1=43) tome el valor 1. Caso de ser así el comparador



*Ilustración 85: Toma del valor 1 del string*

Dará como salida 1 ( $1 \& 1 = 1$ ) y pondrá en ON el LED de alarma de MOVIMIENTO



*Ilustración 86: Alarma encendida*

En caso contrario dará como salida 0 ( $0 \& 1 = 0$ ) y pondrá el anterior LED en estado OFF



Ilustración 87: Alarma OFF

- Lógica compleja. Envío de un EMAIL

Basada en varias lógicas en serie.

Veámoslo con un ejemplo:

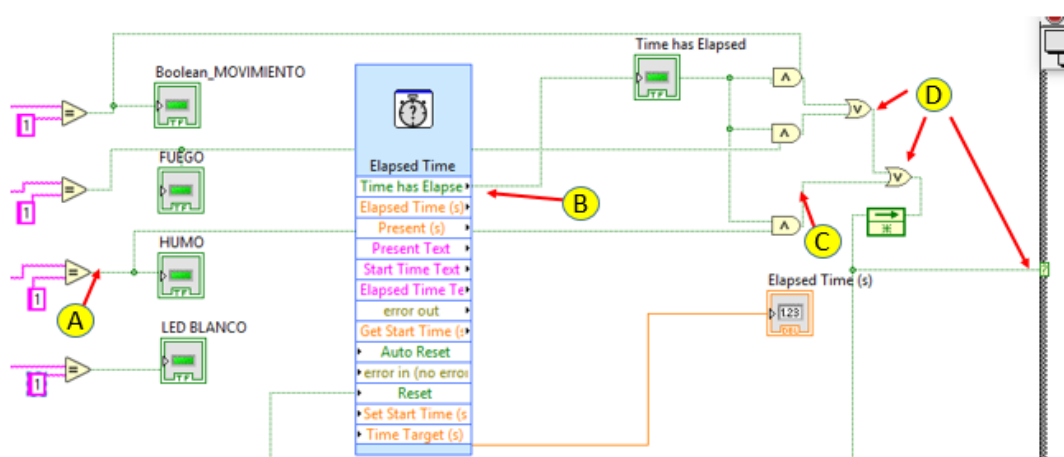


Ilustración 88: Módulo de enviar un email

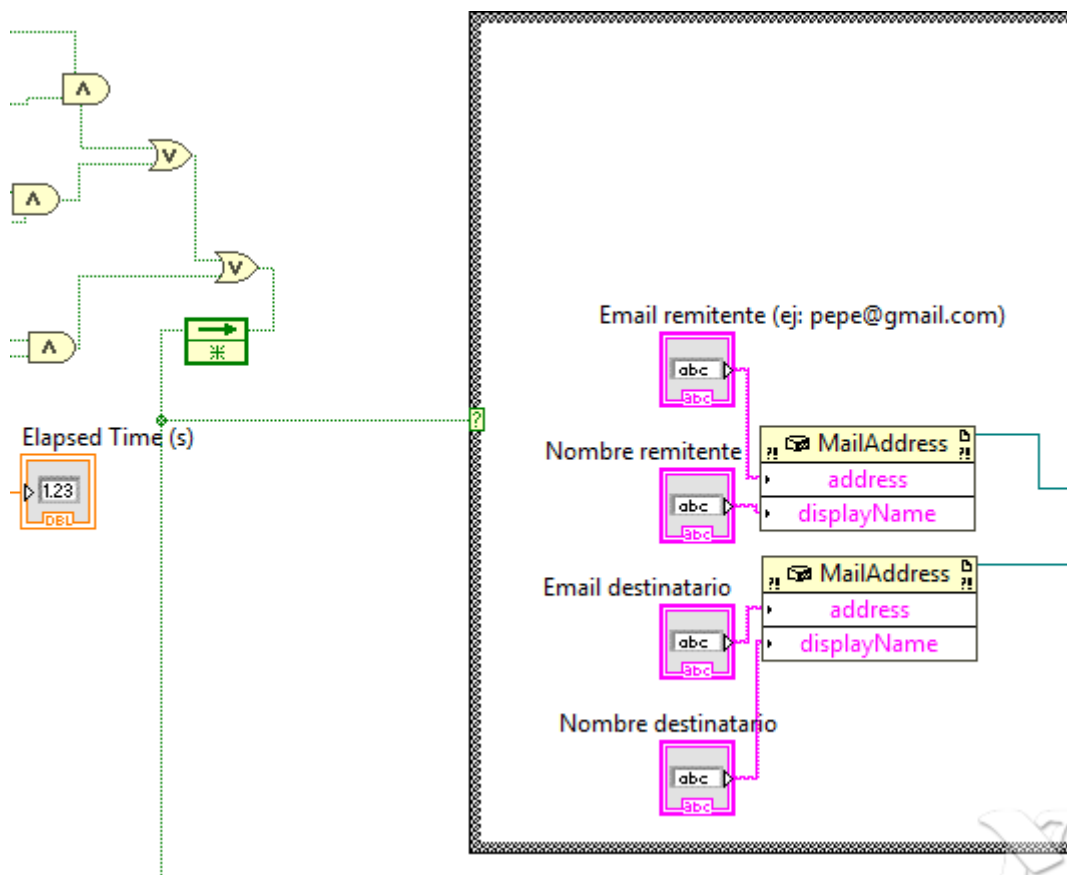
Para que el VI envíe un *Email* al dueño del invernadero porque hay *HUMO*, tienen que suceder varias afirmaciones sucesivas:

- A tiene que estar a 1
- Tiene que haber pasado un cierto tiempo desde el último mensaje de alarma (en nuestro caso  $600'' = 10'$ ). Con lo que B estará a 1. Nota: el intervalo de tiempo entre dos eventos es medido por el objeto "Elapsed Time"
- Luego si A y B están a 1, su tabla de verdad AND también será 1. Punto C.

- iv. Además, se complica un poco más porque enviará un correo tipo sin diferenciar si la alarma es por *MOVIMIENTO* o *FUEGO* o *HUMO*. Esto se consigue mediante la tabla de verdad OR (1 OR 1 OR 1 = 1. Con que uno sea 1 se enviará el email). Punto D.

**Veamos ahora el módulo email contenido dentro de la Zona de la comunicación serial.**

Los cables del punto anterior penetran en una nueva estructura.



*Ilustración 89: Módulo email dentro de la estructura*

Este módulo es usado para enviar correos electrónicos al dueño del invernadero cuando ocurra una alarma, a saber:

- Movimiento incontrolado dentro del invernadero y/o
- Humo y/o
- Fuego.

Se encuentra dentro de una *Case Structure*

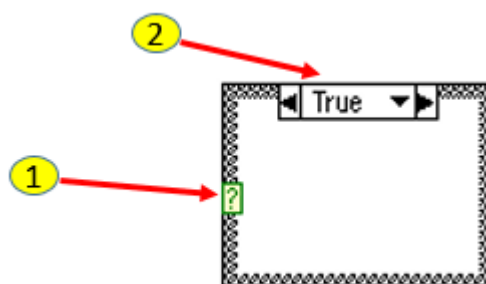


Ilustración 90: Case structure

1: valor de entrada, que puede ser booleano o numérico

2: caso que se ejecutará según el valor de entrada.

Los objetos que tiene son los necesarios para rellenar y enviar un correo electrónico. Se hace utilizando el protocolo SMTP (Simple Mail Transfer Protocol/ Protocolo para Transferencia Simple de Correo), el cual es el estándar de internet para el intercambio de correo electrónico.

El proceso de envío es:

- El cliente conecta con el servidor SMTP
- Le envía la información necesaria para que transmita el mensaje a su destino.

Las fases detalladas son:

- Nombre del proveedor del servicio de correo y su puerto

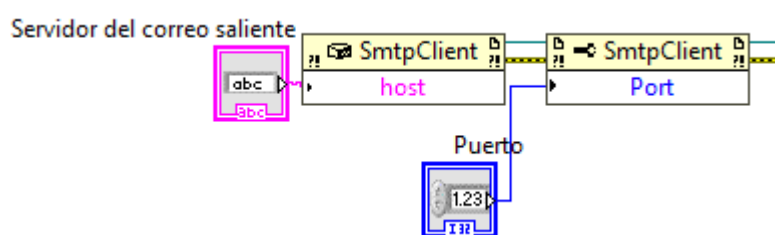
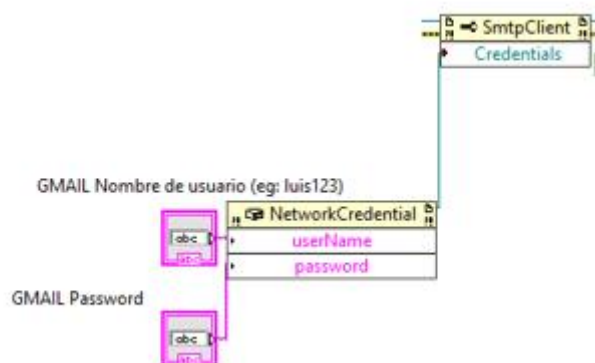


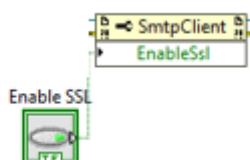
Ilustración 91: Módulo servidor de correo

- Autenticarse



*Ilustración 92: Módulo de autenticación*

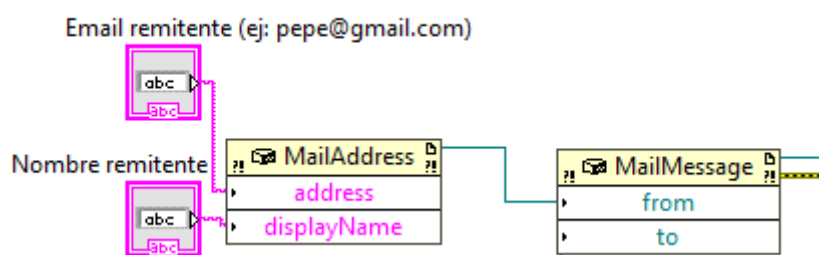
- Activar SSL



*Ilustración 93: Módulo ssl*

- Realizar el envío del mensaje. Esto incluye:

- Introducción del remitente



*Ilustración 94: Módulo del remitente*



b. Introducción del destino

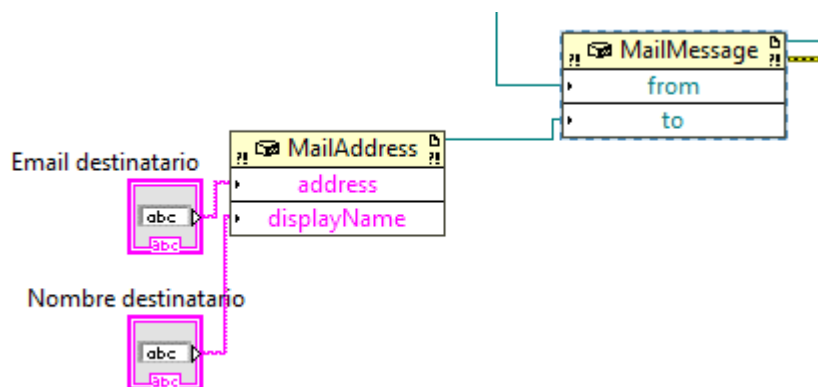


Ilustración 95: Módulo de destino

c. Introducción del asunto

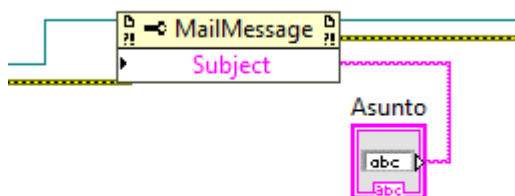


Ilustración 96: Módulo del asunto

d. Introducción del cuerpo

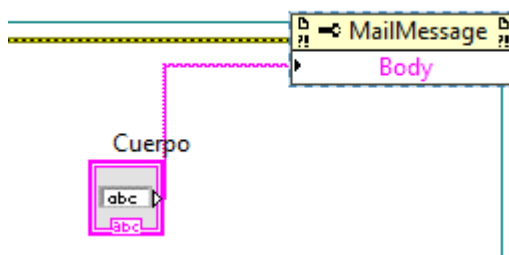


Ilustración 97: Módulo del cuerpo del mensaje

e. Enviar el mensaje propiamente dicho

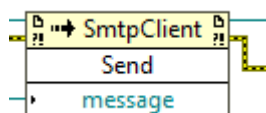
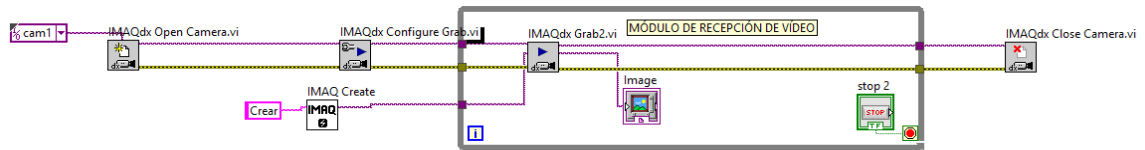


Ilustración 98: Módulo del envío del mensaje

## f. Cierre del proceso email



*Ilustración 99: Módulo final del email*

**Veamos ahora la zona de recepción de vídeo en tiempo real.**

LabView necesita la instalación de un módulo extra llamado NIDAQmx para adquisición de vídeo/imágenes de un periférico exterior:

- Cámaras inteligentes.
- Sistemas de visión.
- Tarjetas de adquisición de imágenes.

Permitiendo su recepción vía:

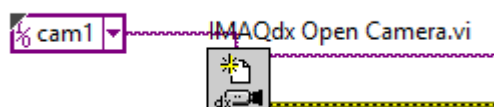
- Giga Ethernet.
- FireWire.
- USB (compatible con DirectShow)

Estos periféricos pueden ser:

- Cámaras USB.
- Microscopios.
- Escáneres.
- Webcams
- Otros.

En nuestro caso he empleado una captura de vídeo (EasyCap) vía USB.

El primer objeto que nos encontramos es un *IMAQdx Open Camera.vi*

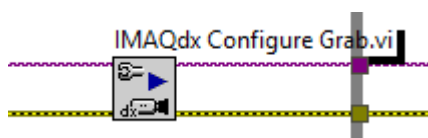


*Ilustración 100: Módulo de cámara*

Cuya misión es abrir el dispositivo de vídeo, en nuestro caso la capturadora de vídeo.

Le indicaremos el nombre del periférico físico a abrir, en nuestro caso *cam1*

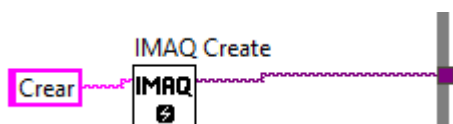
Este primer objeto lo uniremos con otro objeto llamado *IMAQdx Configure Grab.vi*



*Ilustración 101: Módulo IMAQdx*

Para permitirnos capturar imágenes a alta velocidad como ocurre al capturar vídeo, es decir, nuestro caso. De no ser así no sería necesario.

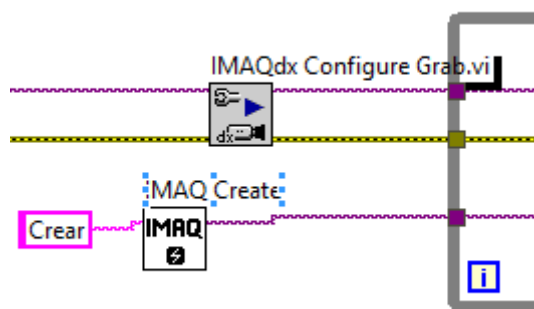
Paralelamente hemos creado otro objeto llamado *IMAQ Create*.



*Ilustración 102: Módulo IMAQ*

El cual nos reservará espacio en memoria y el tipo de imagen con la que trabajaremos (color, blanco y negro...)

Tanto el objeto *IMAQdx Configure Grab.vi* como el objeto *IMAQ Create* se cablean hasta entrar dentro de una estructura *While Loop*.



*Ilustración 103: Módulo de video en la estructura*

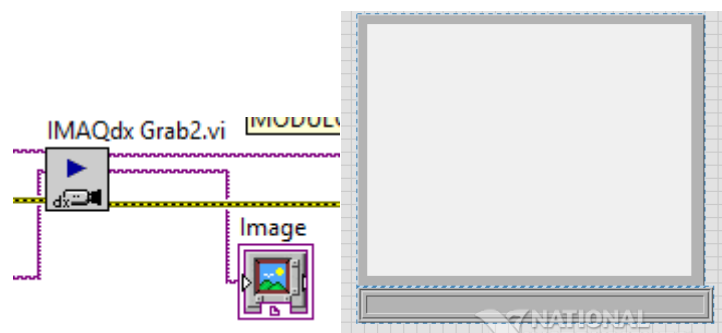
Dentro de la estructura *While Loop* nos encontramos el objeto *IMAQdx Grab2.vi*



*Ilustración 104: Módulo IMAQdx grab2*

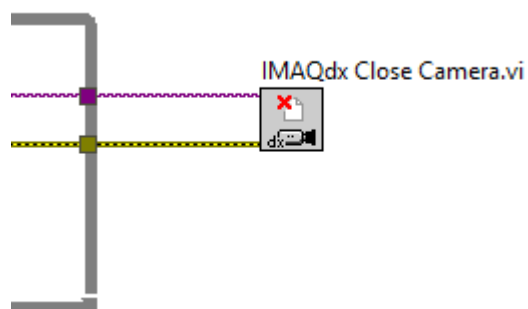
El cual nos permite la adquisición de diferentes capturas consecutivas a alta velocidad. Cuando usemos este objeto será obligatorio introducir anteriormente el ya explicado *IMAQdx Configure Grab.vi*.

Para poder visualizar el vídeo capturado tendremos que introducir un objeto Image



*Ilustración 105: Objeto image*

Finalmente habrá que cerrar la sesión y los recursos usados por la cámara, para lo que añadiremos el objeto *IMAQdx Close Camera.vi*



*Ilustración 106: IMAQdx close camera*

### 5.6.1. OTRAS FUNCIONALIDADES AÑADIDAS POR LABVIEW: PUBLICACIÓN WEB

LabView permite la publicación web del panel de control de manera que sea accesible desde internet, incorporando para ello un servidor web.

Esta funcionalidad nos dará la opción de visualizar el panel de control de nuestro VI con distintas posibilidades:

- Visualización estática sin refresco de imagen y sin posibilidad de interaccionar con el VI. (Opción Snapshot)
- Visualización estática con refresco de imagen cada cierto tiempo y sin posibilidad de interaccionar con el VI. (Opción Monitor)
- Visualización dinámica que nos permitirá interactuar con los controles del VI.

En el proyecto he seleccionado la segunda opción, "Visualización estática con refresco de imagen cada 10"" y sin posibilidad de interaccionar con el VI. (Opción Embedded).

Para visualizar el archivo creado escribiremos la siguiente URL `http://nombre o IP del PC/nombre_del_vi.htm`.

El proceso de creación es el siguiente:

- Accedemos a la herramienta de publicación web llamada *Web Publishing Tool...* que se halla en el menú *Tools* de LabView

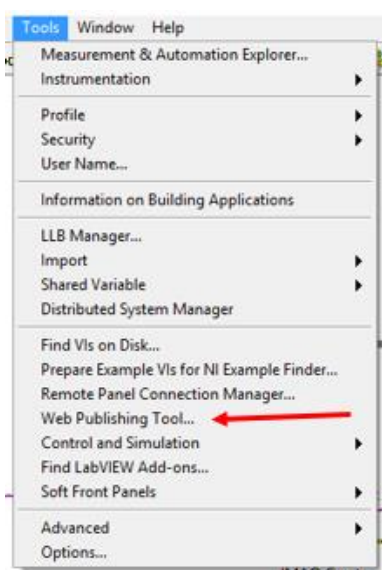
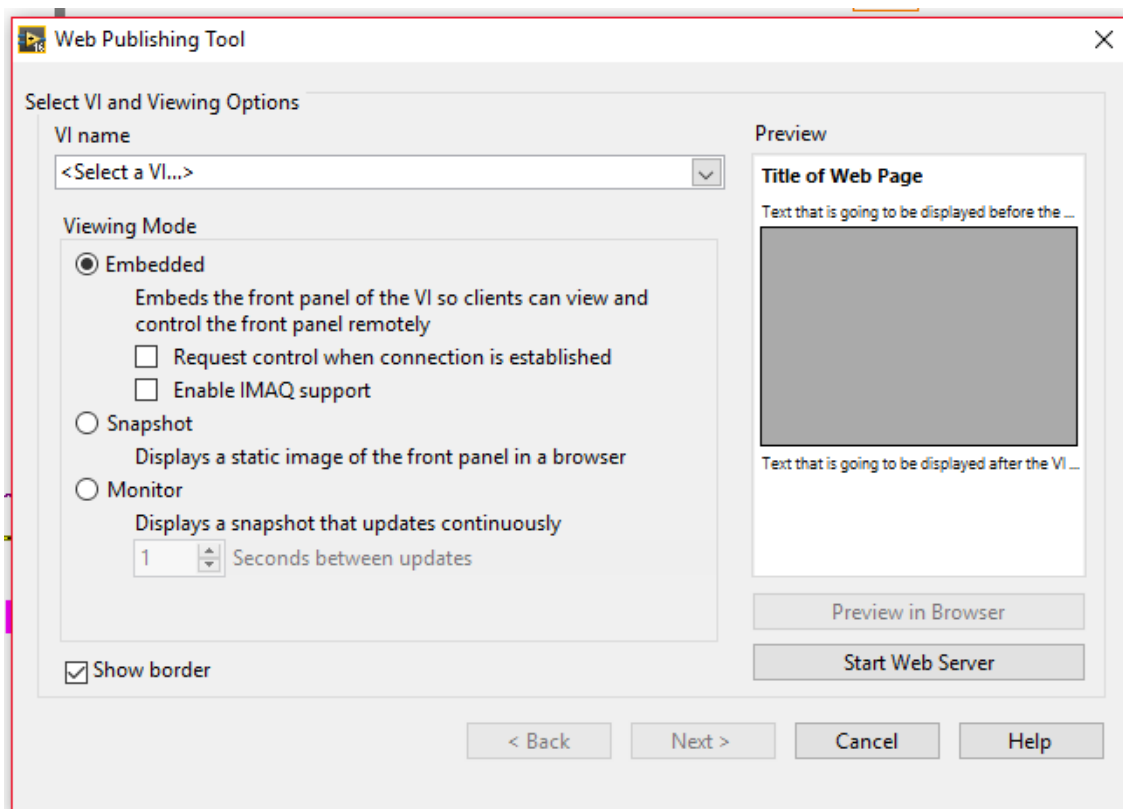


Ilustración 107: Menú tools

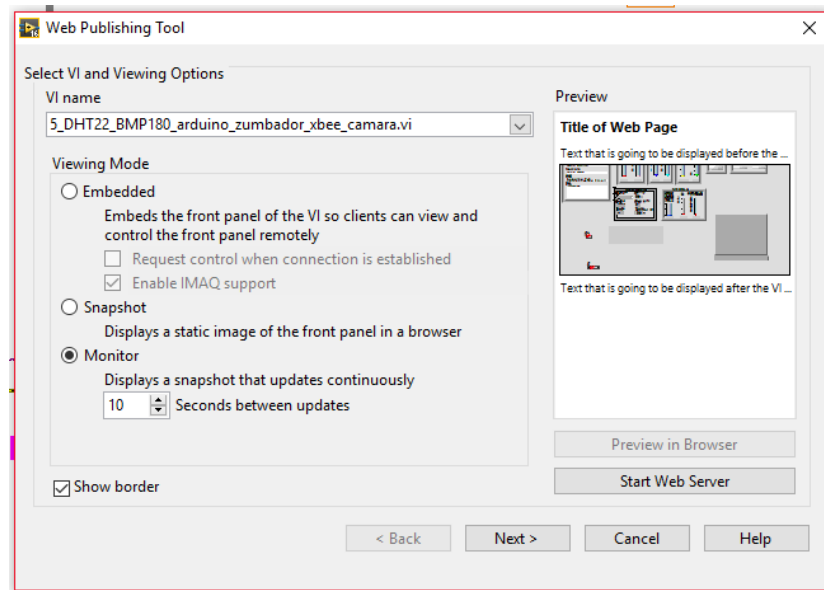
- Aparecerá el siguiente interfaz:



*Ilustración 108: Menú web publishing*

- Lo configuraremos marcando:
  - Seleccionaremos el VI que queremos que se publique
    - En nuestro caso:  
5\_DHT22\_BMP180\_arduino\_zumbador\_xbee\_camara.vi

## b. Monitor

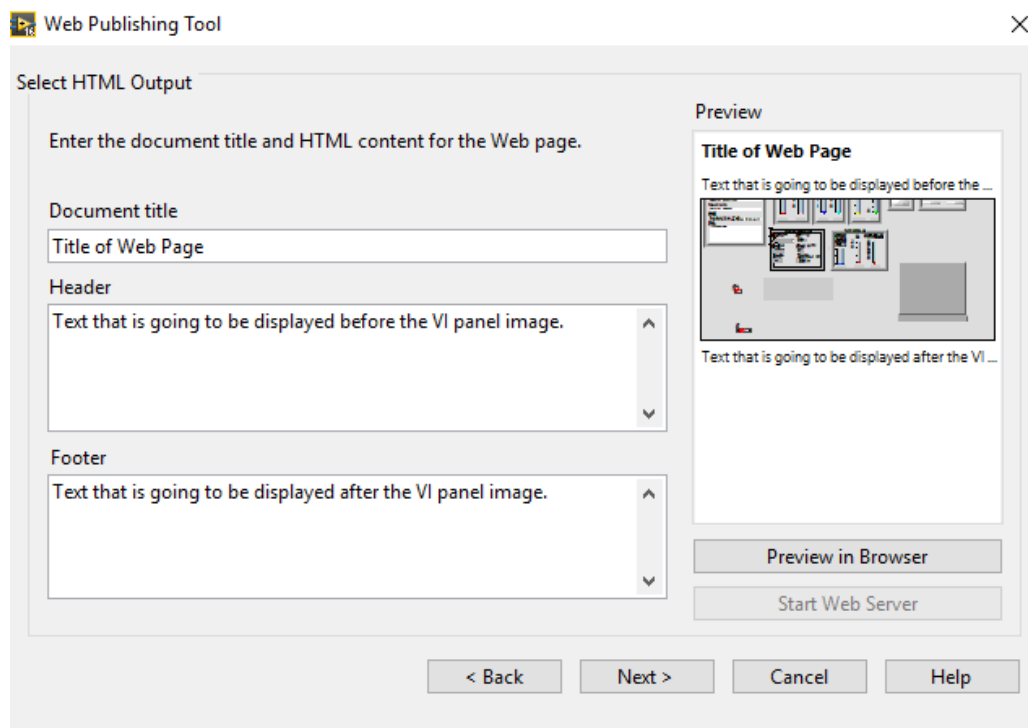


## i. 10 segundos

## c. Marcamos "Show border" (no es necesario)

## d. Pulsamos sobre el botón "Start Web Server" y se nos activará el botón "Preview in Browser" que si lo pulsamos nos permitirá previsualizar la página web de nuestro VI.

## e. Pulsamos el botón "Next &gt;" y nos aparecerá el siguiente formulario:



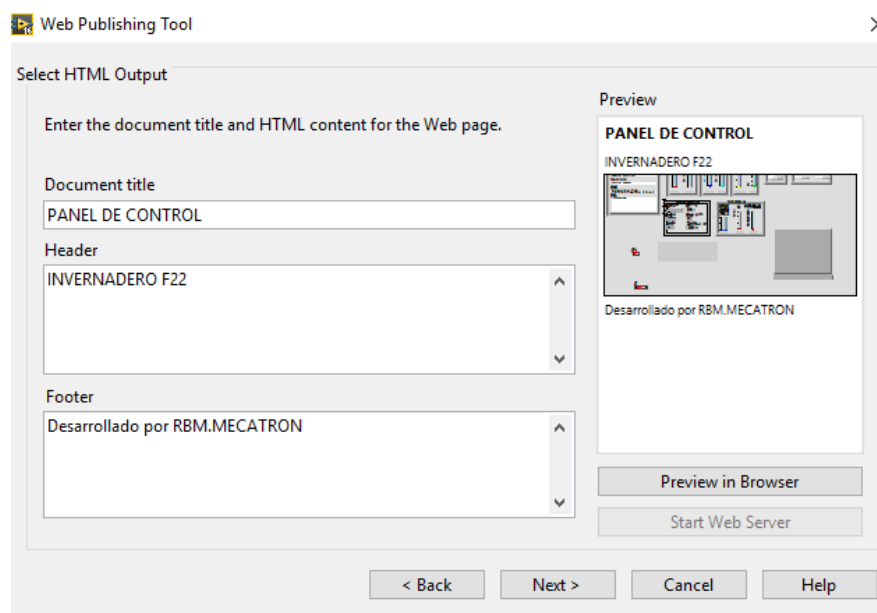
En el que podremos introducir:

- Título del documento (ej: PANEL DE CONTROL)

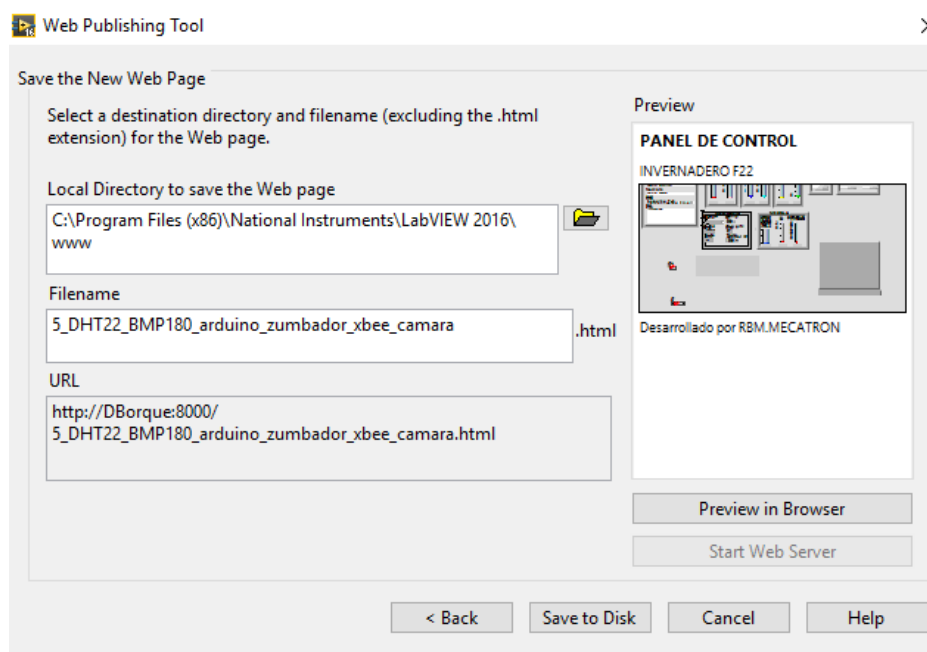


- Encabezamiento (ej: INVERNADERO F22)
- Pie (ej: Desarrollado por RBM.MECATRON)

Quedando tal que:



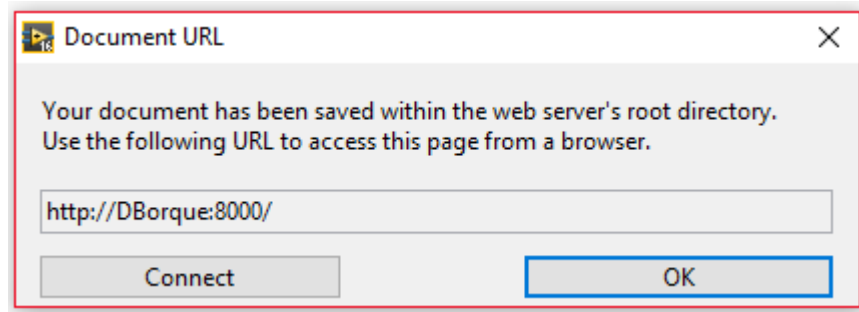
f. Pulsamos el botón "Next >" y nos aparecerá el siguiente formulario:



En el que podemos ver:

- Directorio local en donde se guardará la página web.
- El nombre del archivo web

- La URL de acceso a la publicación web.
- Pulsamos sobre el botón "Save to Disk" y nos aparecerá el siguiente formulario:



- Pulsamos sobre el botón "OK" y ya está acabado el proceso de publicación web de nuestro VI.
- No olvidemos que la URL de acceso es:
  - [http://dborque:8000/5\\_DHT22\\_BMP180\\_arduino\\_zumbador\\_xbee\\_camara.html](http://dborque:8000/5_DHT22_BMP180_arduino_zumbador_xbee_camara.html)
  - [http://192.168.1.211:8000/5\\_DHT22\\_BMP180\\_arduino\\_zumbador\\_xbee\\_camara.html](http://192.168.1.211:8000/5_DHT22_BMP180_arduino_zumbador_xbee_camara.html)

## 5.6.2. Aspecto final

Debido al gran tamaño del diagrama de bloques se ha adjuntado en los anexos, y el panel de control tendrá la siguiente forma:

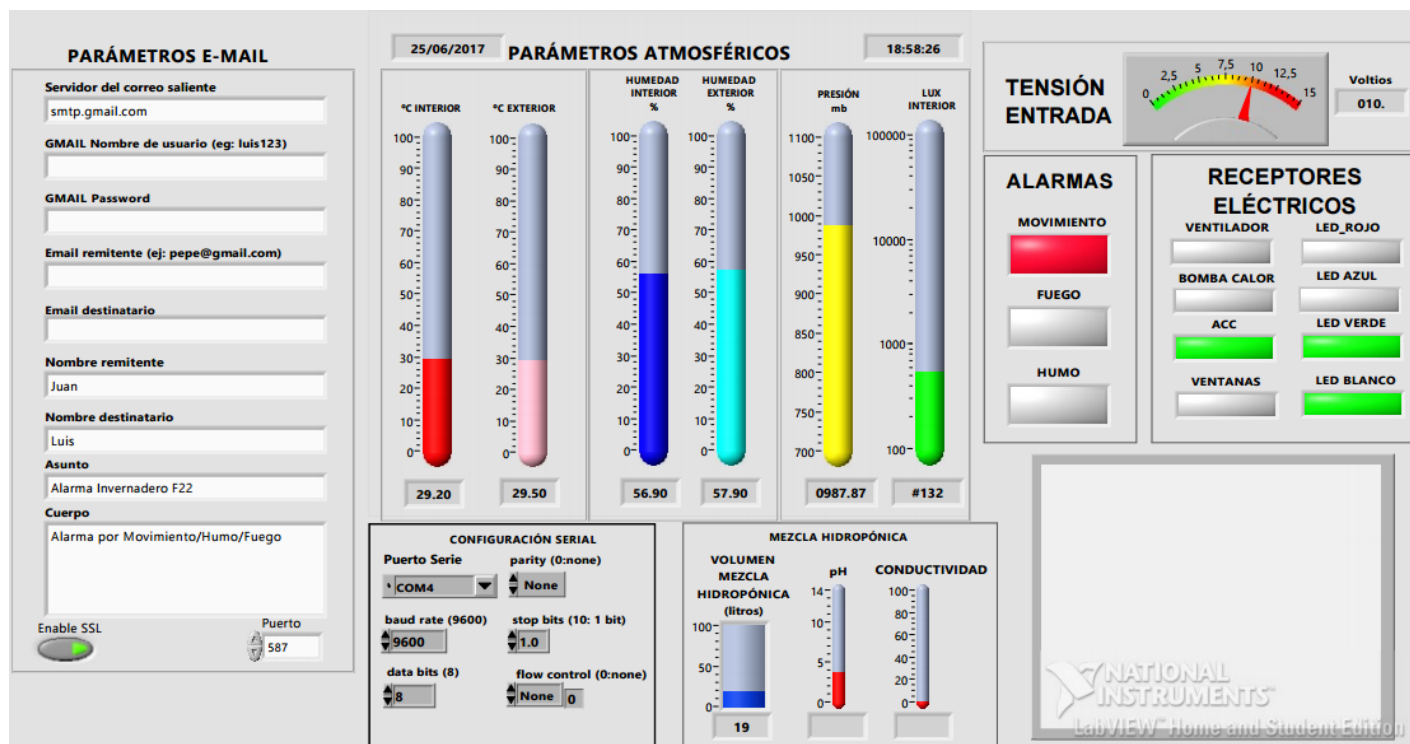


Ilustración 109: Panel de control final

## 6. PROTOTIPO

Debido a que no tenemos los medios ni el presupuesto para llevar a cabo el montaje del proyecto teórico previo, hemos decidido construir un prototipo a escala lo más parecido al calculado, con el fin de comprobar su funcionamiento.

### 6.1. ACLARACIONES

Debido al elevado coste de los sensores de conductividad y pH se ha prescindido de ellos, a su vez, se ha descartado el uso de ventanas cenitales, ya que aumentaría la complejidad de la estructura y, por tanto, el tiempo necesario para la finalización del proyecto.

Debido a que nuestro invernadero es más pequeño, usaremos un depósito más pequeño, por lo que ya no usaremos la bomba del modelo teórico para el depósito principal, si no que usaremos las bombas auxiliares del modelo teórico para el depósito principal del prototipo.

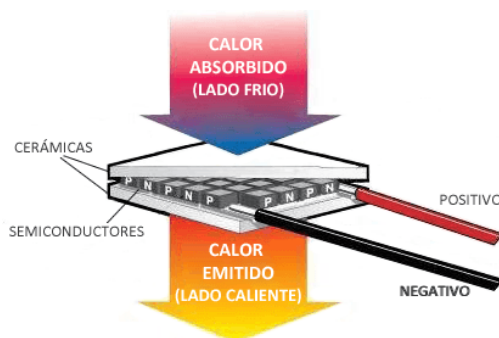
Del mismo modo, para la calefacción y la refrigeración, ya no usaremos una bomba de calor y el aire acondicionado, si no que haremos uso de unas células Peltier, de las cuales se hablara más adelante.

El resto de sensores continuaran siendo los mismos, al igual que el código de Arduino y LabView.

#### 6.1.1. *Células Peltier*

Una placa Peltier es un dispositivo electrotérmico que permite generar frío a partir de electricidad.

Una placa Peltier actúa como una bomba de calor de estado sólido, es decir, es capaz de emplear energía para transferir calor de un foco frío a uno caliente, oponiéndose al gradiente de temperatura.



*Ilustración 110: Funcionamiento célula Peltier*

Durante su funcionamiento una de las caras de una placa Peltier se calienta mientras que la otra se enfría.

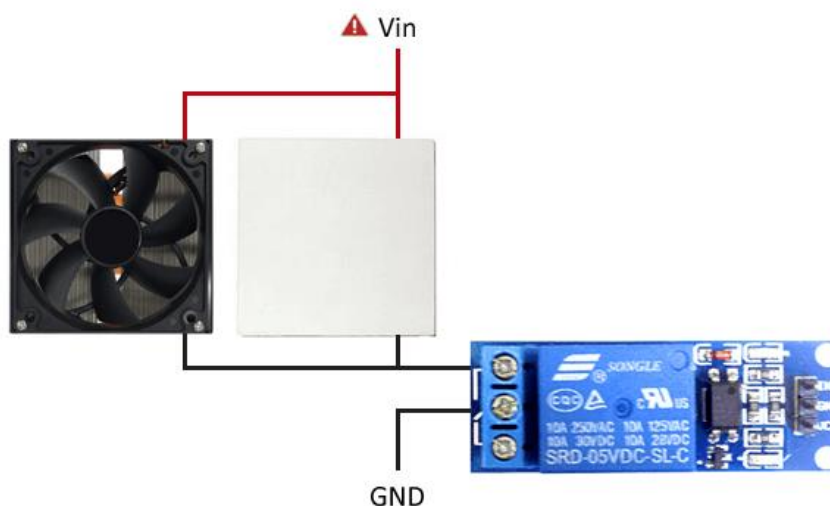


*Ilustración 111: Célula Peltier*

Por lo que, en nuestro caso, usaremos dos de estas células, una para enfriar y otra para calentar.

En cuanto a su disposición, se colocará un ventilador a cada cara de la célula y se hará un agujero en la estructura para poder poner un lado de cada célula dentro del invernadero, uno frío y el otro caliente.

Debido a su alto consumo de corriente, lo más sencillo será conectar el ventilador y la célula a 12 V interponiendo el relé como interruptor.



*Ilustración 112: Conexión célula Peltier*

### 6.1.2. Alimentación

Dado que la mayoría de los componentes trabajan a 12 V, usaremos una batería de ese tipo.



*Ilustración 113: Batería de 12 V*

Por otra parte, para poder abrir y cerrar el relé, es necesario una tensión de 5 V para su control, por lo que introduciremos un transformador de 12 V a 5 V.

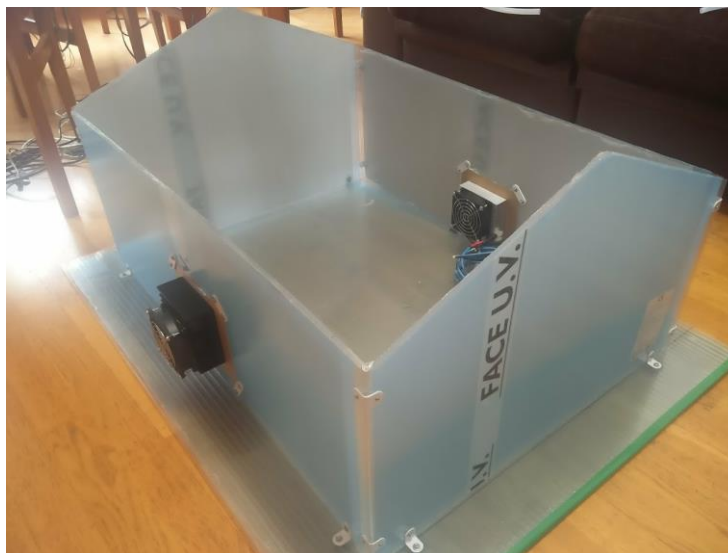


*Ilustración 114: Transformador de 12 V a 5 V*

## 6.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Dado que la cubierta iba a ser construida en policarbonato, hemos optado por usar este material para toda la estructura. Por lo que, sobre una base de policarbonato, hemos erigido dos paredes laterales de 80x30 cm y dos paredes frontales de 60 cm por 30 cm en su alto más pequeño y 42 cm en el más grande. Y toda la estructura cerrada con un tejado de 90x40 cm por lado.

Todas las partes de la estructura han sido unidas mediante escuadras de unión. Creando la siguiente estructura.

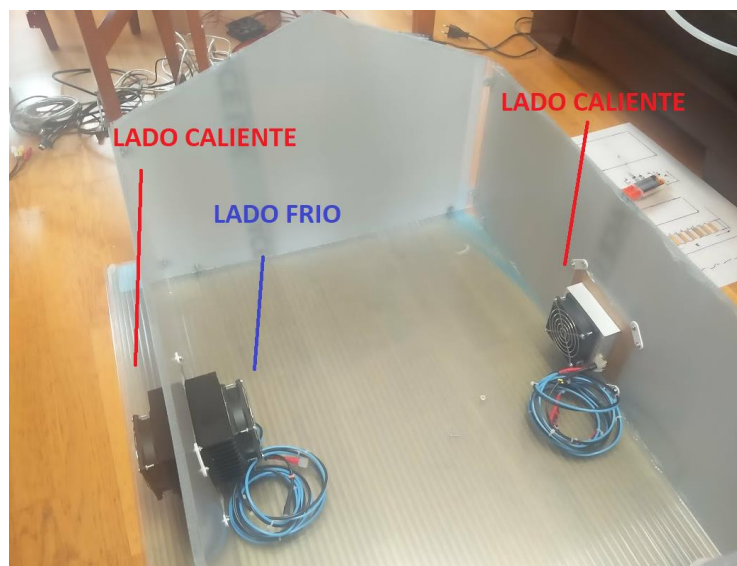


*Ilustración 115: Estructura sin tejado*



*Ilustración 116: Estructura con tejado*

Nótese que las células Peltier ya han sido colocadas como se comentaba anteriormente.



*Ilustración 117: Disposición de las células Peltier*

Hay un lado frío y un lado caliente dentro del invernadero, y los mismos en el exterior, pero estos últimos no tienen ningún uso ni utilidad.

Cabe también decir que no hemos quitado el plástico que recubre el policarbonato para no rayarlo ni romperlo hasta que se realice la exhibición final.

En cuanto a la canalización, usaremos tres tubos de metacrilato transparente, con orificios en el para poder colocar las plantas, aunque lo mejor para este tipo de cultivos son los tubos de PVC opacos hemos optado por esta opción para hacerlo más vistosos a la hora de exhibirlos.





*Ilustración 118: Canales de cultivo*

Estos tres tubos van dentro del invernadero.

En cuanto al depósito, será un bidón de 10 litros, donde estará la bomba que suministra el caudal a los canales de cultivo, las tres tuberías provenientes de los canales de cultivo, el oxigenador y el sensor de ultrasonidos este último en la zona superior.

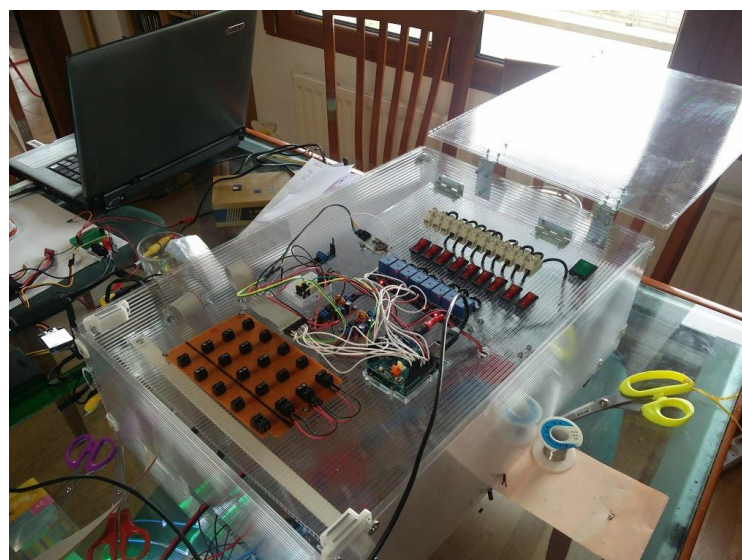
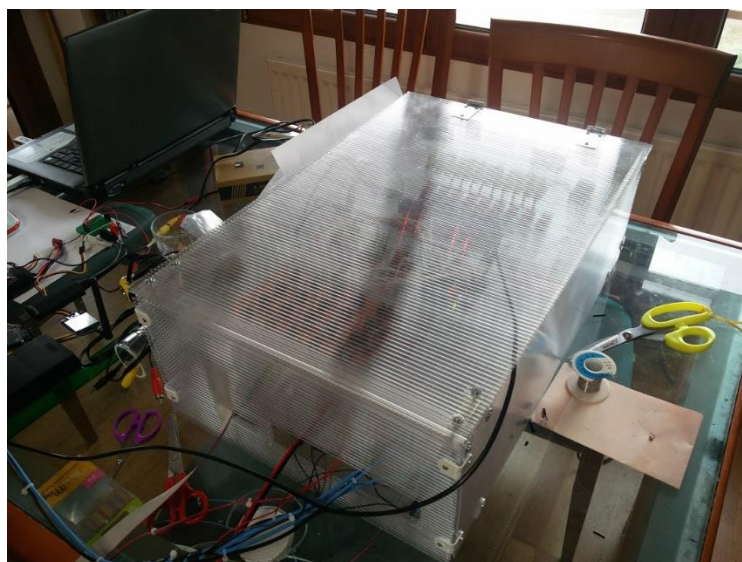
El depósito ira fuera del invernadero, y al igual que los canales de cultivos, debería ser opaco, pero por la misma razón que los anteriores lo hemos elegido transparente.



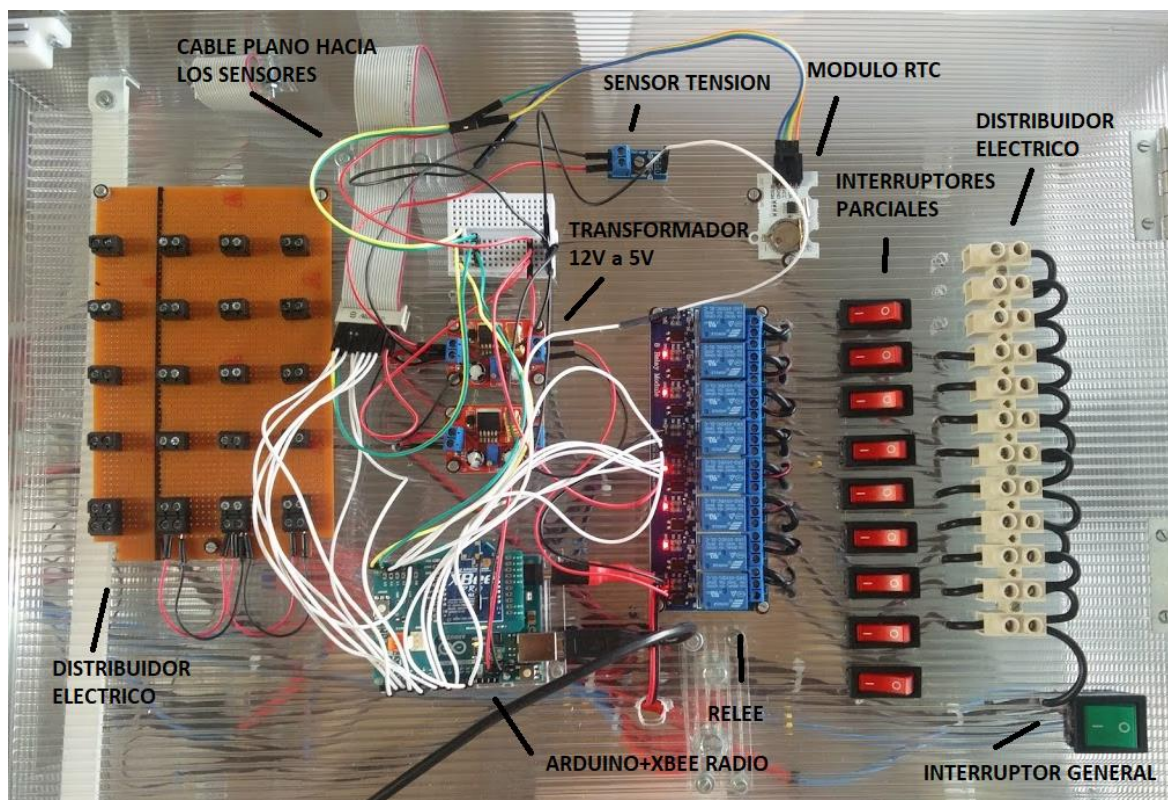
*Ilustración 119: Deposito*

## 6.3. CUADRO GENERAL ELÉCTRICO

Tanto el Arduino, como el relé y los interruptores de encendido los hemos introducido en una caja, de la misma manera en la que irían en el modelo teórico.



*Ilustración 120: Cuadro general eléctrico del prototipo*



*Ilustración 121: Cuadro general eléctrico 2*

El distribuidor eléctrico conecta la batería con todos los componentes, pasando primero por los interruptores parciales, los cuales nos permiten desconectar componentes sin la necesidad de apagar todo el sistema, el distribuidor eléctrico no tiene ninguna utilidad en este proyecto, se puso con el fin de poder ampliar los sensores en caso de ser necesario.

El resto de sensores están colocados dentro del invernadero y llevados hasta la caja mediante un cable plano de 20 vías.

<b>PLACA ARDUINO + PLACA RELÉS</b>		
	<b>PIN ARDUINO</b>	<b>Nº RELÉ</b>
<b>ELEMENTO</b>		
LED BLANCO	11	8
LED VERDE	12	5
LED ROJO	9	7
LED AZUL	10	6
ACC	A3	4
BOMBA CALOR	A2	3
VENTILADOR	13	2
°t / HUMEDAD	2	
°t / HUMEDAD	5	
PRESIÓN ATM	A4 (SDA)/A5(SCL)	
PIR	4	
LLAMA	A0	
HUMO	8	
DISPLAY	A4 (SDA)/A5(SCL)	
ULTRASONIDOS	3 (output) 7 (input)	
LUXÓMETRO	A4 (SDA)/A5(SCL)	
SENSOR VOLTAJE	A1	

*Tabla 4: Tabla de conexiones*



## CABLE PLANO. CONECTOR 20 PIN,s

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

	ELEMENTO	PIN ARDUINO
1	I <sub>2</sub> C	A5 (SCL)
2	PIR	4
3	°t / HUMEDAD	2
4	°t / HUMEDAD	5
5	HUMO	8
6	LLAMA	A0
7	ULTRASONIDOS	3 (output)
8	ULTRASONIDOS	7 (input)
9		
10	5 voltios	5 voltios
11	I <sub>2</sub> C	A4 (SDA)
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20	GND	GND

Tabla 5: Tabla de conexiones del cable plano

## 7. CONCLUSIONES

Como conclusión, afirmar que con este trabajo se han tocado todas las áreas que componen el grado, tales como mecánica, electrónica, electricidad e informática.

Sin embargo, puesto que dichos campos son demasiado extensos para un solo trabajo de fin de grado no se han podido desarrollar más extensamente cada uno de ellos, por lo que hubiera sido necesario más tiempo o un equipo de tres personas trabajando cada una en un área del proyecto.

Por otra parte, se han llevado a cabo los objetivos, que era el desarrollo de un invernadero hidropónico automatizado y como añadido se ha llevado a cabo la construcción de un prototipo a escala con el que comprobar los resultados. Dicho prototipo es solo una aproximación al real, puesto que no he podido incluir todos los sensores necesarios debido a su elevado coste.

Como trabajo futuro se propone una serie de mejoras:

- Control remoto vía radio permitiendo las comunicaciones full dúplex, ya que en el presente proyecto las comunicaciones son simplex, es decir, en un único sentido (invernadero→punto de administración)
- Visión artificial para determinar el grado de madurez de los sembrado y fecha óptima para su recolección.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Manual de hidroponía. Oasis easy plant. Sitio web: <http://www.imtf.com.mx/wp-content/uploads/2017/04/Manual-de-hidroponia.pdf>

José Beltrano y Daniel O. Gimenez (2010). Cultivo en hidroponía. Sitio web: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1)

Rafa Guillen (2015). La importancia de la solución nutritiva en la hidroponía. Sitio web: <http://hidroponia.mx/la-importancia-de-la-solucion-nutritiva-en-la-hidroponia>

Dr. D.G. Hessayon (2002). Invernadero: manual de cultivo y conservacion.

D.I. Valera Martinez; Molina aiz; Gil Ribes (2000). Los invernaderos de Almería: tipología y mecanización del clima. Universidad de Almería

Ángel Gordillo; Jorge García (2009). Labores culturales y recolección de los cultivos ecológico. Ediciones Paraninfo.

Gloria Samperio Ruiz (1997). Hidroponía básica: el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. Editorial Diana.

Gloria Samperio Ruiz (1999). Hidroponía comercial. Editorial Diana.

Miguel Urrestarazu Gavilán (2004). Tratado de cultivo sin suelo. Mundi prensa.

J Pelegrí Sebastiá y José Rafael Lajara Vizcaíno (2007). LabView: entorno gráfico de programación. Editorial Marcombo.

Pineda Olivares (2013). Instrumentación virtual. Fundamentos de programación grafica con LabView. Editorial Tecnologico de Montrrey.

Joan Ribas Lequerica (2014). Arduino Practico. Editorial Anaya.

Fernando Reyes Cortes; Jaime Cid Monjaraz (2015). Arduino: aplicaciones en robótica, mecatrónica e ingenierías. Editorial Marcombo.

José Rafael Lajara Vizcaino (2014). Sistemas integrados con Arduino. Editorial Marcombo.

Otras fuentes consultadas:

<https://www.luisllamas.es/>

<https://www.hidroponiacasera.net/luz-artificial-para-plantas/>

<http://todohidroponico.com/2007/09/el-cultivo-hidroponico-de-la-lechuga.html>

<http://www.cype.es/>





## Relación de documentos

(X) Memoria .....	140	páginas
(_) Anexos .....	152	páginas

La Almunia, a 28 de junio de 2017

Firmado: Rubén Borque Martínez